

**Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Амурский государственный университет»**

Кафедра физики

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ  
«Материаловедение. Технология конструкционных материалов»**

Основной образовательной программы по специальности: **260704.65***Технология  
текстильных изделий*

Благовещенск 2012 г.

УМКД разработан старшим преподавателем Волковой Натальей Александровной.

Рассмотрен и рекомендован на заседании кафедры.

Протокол заседания кафедры от «\_\_\_» 2012 года №\_\_\_

И.о. зав. кафедрой

И.А. Голубева

## УТВЕРЖДЁН

Протокол заседания УМСС :260704.65 «*Технология текстильных изделий*»

от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2012 г. №\_\_\_

Председатель УМСС \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(подпись) (Ф.И.О.)

## Содержание

1. Рабочая программа учебной дисциплины	4
2. Краткое изложение программного материала	14
2.1 Лекции	14
2.2 Лабораторные работы	91
3. Методические указания (рекомендации)	116
3.1 Методические указания для преподавателя	116
3.2 Методические указания для студентов	118
3.3 Методические указания к самостоятельной работе студента	119
4. Контроль знаний	123
4.1 Текущий контроль знаний	123
4.2 Итоговый контроль знаний	125
5. Интерактивные технологии и инновационные методы, используемые в образовательном процессе	129

### 1. Рабочая программа дисциплины

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. *Целью освоения дисциплины* «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» является познание природы и свойств металлических и неметаллических материалов для наиболее эффективного использования их в технике и изучение способов их обработки.

### 2. *Задачи дисциплины:*

ознакомление студентов с основными конструкционными материалами, применяемыми в машиностроении и приборостроении, их строением, технологическими основами их производства, основами порошковой металлургии, основными методами получения твердых тел, поведением металлов и сплавов при пластическом деформировании, термической обработке, основами теории и практики формообразования заготовок (литейное производство, обработка давлением, сварочное производство, обработка резанием, пайка, склеивание)

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО:

Дисциплина «Материаловедение. Технология конструкционных материалов» входит в цикл общепрофессиональных дисциплин (ОПД. Ф.03.) Знания, получаемые в ходе изучения данной дисциплины, могут быть использованы при выполнении расчетов по дисциплинам «Детали машин», «Теория механизмов и машин», «Оборудование швейных предприятий», «Патентоведение», а также могут быть полезны при выполнении научно-исследовательских работ студентов.

Для освоения дисциплины необходимо знать:

- 1) курс общей физики;
- 2) курс неорганической химии;
- 3) базовый курс математики.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

**знать:** атомно-кристаллическое строение металлов; свойства металлов и сплавов на их основе; методы обработки металлов (деформация, резание, литейное производство, сварочное производство); новые металлические, неметаллические и композиционные материалы;

**уметь:** использовать оборудование лаборатории для качественного и количественного определения свойств металлов и сплавов (твердость, ударная вязкость, жаропрочность, пластичность и т.д.); пользоваться справочными данными по характеристикам материалов и способам их обработки.

**владеть:** основами расчетов технологической оснастки для получения различных заготовок и деталей, иметь некоторые навыки будущего конструктора в этом направлении.

## СОДЕРЖАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ ПО ГОС ВПО

Материаловедение. Технология конструкционных материалов

Материаловедение:

строение металлов, диффузионные процессы в металле, формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации, пластическая деформация, влияние нагрева на структуру и свойства деформированного металла, механические свойства металлов и сплавов; конструкционные металлы и сплавы; теория и технология термической обработки стали; пластмассы.

Технология конструкционных материалов:

введение; теоретические и технологические основы производства материалов; материалы, применяемые в машиностроении и приборостроении; основы металлургического производства; основы порошковой металлургии; напыление материалов; классификация способов получения заготовок; производство заготовок способом литья; производство неразъемных соединений; сварочное производство; пайка материалов; получение неразъемных соединений склеиванием; изготовление полуфабрикатов и деталей из композиционных материалов; формообразование поверхностей деталей резанием, электрофизическими и электрохимическими способами обработки; обработка поверхностей деталей абразивным инструментом.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «Материаловедение. Технология конструкционных материалов»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 90 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды учебной работы				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
		Лекции и (час.)	Практические занятия (час.)	Лабораторные работы (час.)	СРС (час.)	
1	<p>Раздел 1 «Материаловедение»</p> <p>1.1 Строение и основные свойства металлов и сплавов</p> <p>1.2 Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния Fe-C. Углеродистые стали, чугуны</p> <p>1.3 Пластическое деформирование металлов, сплавов. Методы определения конструктивных свойств</p> <p>1.4 Основы теории и практики термической обработки.</p> <p>1.5 Легированные стали, область применения, термическая обработка.</p> <p>1.6 Цветные металлы и сплавы на их основе. Сплавы с особыми свойствами.</p> <p>1.7 Композиционные и неметаллические материалы (резины, пластмассы)</p>	8		8	27	<p>Контроль за посещением лекций.</p> <p>Защита лабораторных работ.</p> <p>Контролирующий тест по разделу.</p> <p>Опрос по темам, отведенным на самостоятельное изучение .</p>

Раздел 2 «Технология конструкционных материалов» 2.1 Структура металлургического производства 2.2 Обработка металлов давлением (пластическим деформированием). 2.3 Литейное производство. 2.4 Методы получения неразъемных соединений. 2.5 Обработка металлов резанием. Абразивная обработка. 2.6 Электрофизические и электрохимические методы обработки.	10		10	27	Контроль за посещением лекций. Защита лабораторных работ. Контролирующий тест по разделу. Опрос по темам, отведенным на самостоятельное изучение.
Подготовка к зачету					

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1 ЛЕКЦИИ

###### *Раздел 1 «Материаловедение»*

1.1 **Строение и основные свойства металлов и сплавов** Атомно-кристаллическое строение металла. Диффузионные процессы в металле. Понятие о строении сплавов. Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации. Дефекты строения реальных металлов и сплавов. Аллотропические превращения в металлах (полиморфизм).

1.2 **Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния Fe-C. Углеродистые стали, чугуны** Микроструктура железоуглеродистых сплавов. Влияние постоянных примесей (N, S, P, Si, Mn) на свойства сталей. Классификация и маркировка углеродистых сталей и чугунов. Механические свойства сталей и чугунов.

1.3 **Пластическое деформирование металлов и сплавов, методы определения конструкционных свойств металлов и сплавов** Пластическое деформирование металлов. Наклеп и разрушение. Возврат и рекристаллизация. Холодная и горячая деформация. Статические, динамические, циклические методы определения механических свойств. Определение твердости различными методами, ударной вязкости, прочности, пластичности.

1.4 **Основы теории и практики термической обработки.** Виды термической обработки. Превращения в железоуглеродистых сплавах при нагреве и охлаждении. Виды отжига. Технология закалки и отпуска сталей, виды закалки (ступенчатая, изотермическая). Закалка с нагревом ТВЧ. Термомеханическая обработка сталей. Дефекты закалки. Превращения, происходящие при отпуске.

1.5 **Легированные стали, область применения, термическая обработка** Влияние легирующих элементов на структуру и свойства легированных сталей. Инструментальные, конструкционные, легированные стали и стали с особыми свойствами (нержавеющие, жаропрочные, износостойкие). Структурные классы легированных сталей.

**1.6 Цветные металлы и сплавы на их основе. Сплавы с особыми свойствами** Медь и её сплавы. Применение медных сплавов в промышленности. Алюминий, магний, титан и их сплавы. подшипниковые сплавы. Материалы в приборостроении и автоматике. Магнитные материалы. Материалы с особыми тепловыми и упругими свойствами. Проводниковые материалы, сплавы с высоким электросопротивлением, припой. Контактные материалы, материалы в микроэлектронике.

**1.7 Композиционные и неметаллические материалы** Классификация неметаллических материалов. Композиционные неметаллические материалы, металло- и минералокерамика. Особенности строения композиционных материалов. Пластмассы и резины. Классификация и применение. Особенности формообразования заготовок из пластмасс и резин.

## **Раздел 2 «Технология конструкционных материалов»**

**2.1 Структура металлургического производства** Материалы для производства металлов и сплавов. Доменное производство, выплавка чугуна. Производство стали. Способы и оборудование.

**2.2 Обработка металлов давлением (пластическим деформированием).** Физико-механические основы обработки металлов давлением. Физические явления при поверхностном пластическом деформировании. Процессы производства заготовок и готовых деталей. Процесс волочения. Прокатное производство. Холодная и горячая штамповка. Процесс прессования. Процессковки.

**2.3 Литейное производство.** Теоретические основы производства отливок, литье в песчано-глинистые формы. Специальные способы литья: литье в оболочковые формы, литье по выплавляемым моделям, центробежное литье, литье под давлением, литье в кокиль. Изготовление отливок из разных сплавов. Технологичность конструкций литых деталей. Дефекты отливок и методы их устранения.

**2.4 Методы получения неразъемных соединений.** Сварочное производство. Физические основы получения сварного соединения. Способы сварки (электрические, химические, лучевые, механические, электромеханические). Оборудование и материалы. Пайка металлов и сплавов. Склеивание материалов

**2.5 Обработка металлов резанием.** Технология обработки металлов резанием. Физико-механические основы процесса резания. Классификация оборудования. Режущий инструмент. Классификация и основные механизмы металлорежущих станков. Обработка на различных станках токарной группы. Обработка заготовок на сверлильных и расточных станках, виды станков. Процесс фрезерования, обработка на фрезерных станках. Обработка поверхностей деталей абразивным инструментом. Условие непрерывности и самозатачиваемости.

**2.6 Электрофизические и электрохимические методы обработки.** Электроэрозионная обработка. Электрохимическая обработка. Импульсно-механическая обработка. Лучевая обработка. Плазменная обработка.

## **4.2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

Предлагается список лабораторных работ. Преподаватель составляет график выполнения работ для каждой бригады (3 человека).

1. Изучение процесса кристаллизации. (2 часа)
2. Изучение микроструктур сталей и чугунов в равновесном состоянии. (2 часа)
3. Определение механических свойств металлов и сплавов статическими методами. (2 часа)

4. Закалка стали в различных средах (контроль твердости). (2 часа)
5. Изучение способов обработки металлов давлением. Проектирование технологического процесса изготовления поковки. (2 часа)
6. Литье в песчано-глинистые формы. (2 часа)
7. Изучение оборудования для электродуговой и газовой сварки. (2 часа)
8. Изучение назначения металлообрабатывающих станков различных групп и основных видов обработки заготовок. (4 часа)

### 5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
1	Раздел 1 «Материаловедение»		
	1.1 Строение и основные свойства металлов и сплавов.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №1 Конспект по теме. Защита работы.	2
	1.2 Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния железо-углерод.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №2. Конспект по теме. Защита работы.	3
	1.3 Пластическое деформирование металлов, сплавов. Методы определения конструкционных свойств.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №3. Конспект по теме. Защита работы.	3
	1.4 Основы теории и практики термической обработки.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №4. Конспект по теме. Защита работы.	4
	1.5 Легированные стали, область применения, термическая обработка.	Подготовка конспекта по теме. Отчет по теме.	5
	1.6 Цветные металлы и сплавы на их основе. Сплавы с особыми свойствами.	Подготовка конспекта по теме. Отчет по теме.	5
1.7	Композиционные и неметаллические материалы.	Подготовка конспекта по теме. Отчет по теме.	5
		Подготовка к промежуточному тесту.	
2	Раздел 2 «Технология материалов» 2.1 Структура		

металлургического производства	Подготовка конспекта по теме. Отчет по теме.	2
2.2 Обработка металлов давлением.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №5. Конспект по теме. Защита работы.	5
2.3 Литейное производство.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №6. Конспект по теме. Защита работы.	4
2.4 Методы получения неразъемных соединений.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №7. Конспект по теме. Защита работы.	5
2.5 Обработка металлов резанием. Абразивная обработка.	Подготовка отчета к выполнению лабораторной работы №8. Конспект по теме. Защита работы.	7
2.6 Электрофизические и электрохимические методы обработки.	Подготовка по теме. Отчет по теме. Подготовка к итоговому тесту.	4

## 5.1 Подготовка конспектов по темам на самостоятельное изучение

### Раздел 1

**1.1 «Строение и основные свойства металлов и сплавов»** Дефекты кристаллического строения, характеристики элементарной ячейки. Энергетические условия процессов кристаллизации и плавления

**1.2 «Железоуглеродистые сплавы. Диаграмма состояния Fe-C. Углеродистые стали, чугуны»** Методы получения сталей и их влияние на свойства и качество сталей.

**1.3 «Пластическое деформирование металлов и сплавов. Методы определения конструкционных свойств.»** Упругая и пластическая деформация. Классификация методов обработки давлением. Инструмент и оборудование.

**1.4 «Основы термической обработки. Превращения при нагреве и охлаждении»** Изучение особых микроструктур сталей, полученных при термической обработке.

**1.5 «Легированные стали, область применения, термическая обработка»** Особенности термической обработки легированных сталей с особыми свойствами. Влияние легирующих элементов на структуру и свойства сталей с особыми свойствами.

**1.6 «Цветные металлы и сплавы на их основе. Сплавы с особыми свойствами»** Термическая обработка сплавов на основе алюминия, меди, титана, магния.

**1.7 «Композиционные и неметаллические материалы»** Современные тенденции повышения качества композиционных и неметаллических материалов.

## **Раздел 2**

**2.1 «Структура металлургического производства»** Производство чугуна. Подготовка руды к плавке. Доменный процесс. Производство стали, современные способы производства стали. Основы порошковой металлургии. Получение заготовок методами порошковой металлургии.

**2.2 «Обработка металлов давлением»** Физико-механические основы обработки металлов давлением Классификация методов обработки. Назначение и классификация механического оборудования.

**2.3 «Литейное производство»** Основные способы получения отливок. Формовочные и стержневые смеси. Литейная технологическая оснастка.

**2.4 «Методы получения неразъемных соединений»** Свариваемость металлов и сплавов. Способы уменьшения и устранения сварочных деформаций. Особенности сварки цветных металлов и сплавов. Особенности пайки различных материалов. Процесс напыления материалов.

**2.5 «Обработка металлов резанием»** Физические основы процесса резания. Выбор режимов резания, материала инструмента, геометрии режущей части инструмента. Точность изготовления деталей машин и качество обработанной поверхности.

**2.6 «Электрофизические и электрохимические методы обработки»** Особенности физико-химических и электрофизических методов обработки. Применяемое оборудование.

## **6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция». Перед изучением модуля обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал модуля. При чтении лекции используются мультимедийные презентации.

При выполнении лабораторных работ используются прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: выдается задание студентам для подготовки к выполнению работы; с преподавателем обсуждается цель работы и ход её выполнения; цель анализируется с разных точек зрения, выдвигаются гипотезы, делаются выводы, анализируются полученные результаты.

В качестве инновационных методов контроля используется: промежуточное и итоговое тестирование.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

### **7.1 Контролирующий тест**

Промежуточный и итоговый контролирующие тесты проводятся по разделам 1и 2. В каждом тестовом задании 25вопросов. Промежуточный и итоговый контролирующие тесты выявляют теоретические знания, практические умения и аналитические способности студентов.

## 7.2 Вопросы к зачету

1. Кристаллическое строение металлов, характеристики кристаллической решетки. Основные типы кристаллических систем.
2. Реальное строение металлов и сплавов.
3. Диффузионные процессы в металлах.
4. Формирование структуры металлов и сплавов при кристаллизации.
5. Превращения в твердом состоянии. Аллотропия.
  6. Конструкционные материалы, применяемые в машиностроении.
  7. Углеродистые стали, их маркировка, применение.
  8. Металлургическое производство. Производство чугуна.
  9. Цветные металлы и сплавы на их основе.
  10. Основы порошковой металлургии.
  11. Обработка металлов давлением. Влияние пластической деформации на свойства материалов.
  12. Прокатное производство.
  13. Процесс волочения.
  14. Процесс прессования.
  15. Горячая и объемная штамповка.
  16. Получение заготовок методом литья.
  17. Литье в песчано-глинистые формы.
  18. Специальные способы литья.
  19. Сварочное производство.
  20. Процесс напыления материалов
  21. Термический класс сварки, применяемое оборудование.
  22. Термомеханический класс сварки.
  23. Механический класс сварки.
  24. Электрофизические и электрохимические методы обработки
  25. Обработка металлов резанием.
  26. Классификация металлорежущих станков.
  27. Режущий инструмент.
  24. Композиционные материалы.
  25. Полимеры
  26. Резины

## 7.4 Критерии оценки при сдаче зачета

1. К сдаче зачета допускаются студенты:
  - посетившие все лабораторные занятия данного курса;
  - защитившие лабораторные работы;
  - успешно сдавшие промежуточный и итоговый тесты.

При наличии пропусков темы пропущенных занятий должны быть отработаны. Программные вопросы к зачету доводятся до сведения студентов за месяц до зачета.

2. Критерии оценки:

Итоговая оценка знаний студентов должна устанавливать активность и текущую успеваемость студентов в течение семестра по данному предмету.

Оценка «зачтено» - ставится при 65 % правильных ответов на зачете и наличии всех защищенных лабораторных работ.

## 8.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «Материаловедение. Технология конструкционных материалов»

### а) основная литература:

1. Материаловедение и технология конструкционных материалов: учеб.: рек. УМО / под ред. В. Б. Арзамасова, А. А. Черепяхина. - М. : Академия, 2007. - 448 с
2. Материаловедение и технология конструкционных материалов [Текст] : учеб.: доп. Мин. обр. РФ / С. Н. Колесов, И. С. Колесов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :Высш. шк., 2008. - 536 с.

### б) дополнительная литература:

1. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст] : учеб. : в 2 т / под ред. В. С. Чередниченко. - Новосибирск : Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2004 - . - (Учебники НГТУ) Т. 1 : Элементы теоретических основ материаловедения и технологии получения материалов. - 2004
2. Материаловедение и технология металлов [Текст] : учеб.: рек. Мин. обр РФ / под ред. Г. П. Фетисова. - 4-е изд., испр. . - М. : Высш. шк., 2006. - 863 с.
3. Технология конструкционных материалов: учеб.-метод. комплекс для спец. 260704, 260901, 260902/ АмГУ, ИФФ; сост. Н.А. Волкова. – Благовещенск: Изд-во Амур.гос. ун-та, 2007. – 146 с.
4. Материаловедение. Технология конструкционных материалов [Текст] : учеб.пособие: доп. УМО / под ред. В. С. Чередниченко. - 2-е изд., перераб. - М. : Омега-Л, 2006. - 752 с. : ил., табл. - (Высшее техническое образование).

### в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	<a href="http://www.iqlib.ru">http://www.iqlib.ru</a>	Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания.
2	<a href="http://www.amursu.ru/">http://www.amursu.ru/</a>	Электронная библиотека АмГУ

### г) периодические издания:

1. Вопросы материаловедения
2. Материаловедение
3. Перспективные материалы
4. Пластические массы.
5. Технология полимерных материалов. Выпуск сводного тома.
6. Упрочняющие технологии и покрытия

**9.МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ  
«Материаловедение. Технология конструкционных материалов»**

№ п/п	Наименование лабораторий, ауд.	Основное оборудование
1	2	3
2	113 а	муфельная печь ПМ-10 муфельная печь SNOL микротвердомер ПМТ-3, твердомер ТШ-2М твердомер ТК-14-250 металлографический микроскоп ЛабоМет-И-1, металлографический микроскоп МЕТАМ ЕС РВ биологический микроскоп МБС-10 шлифовальный станок.
3	108	станочный парк металлорежущего оборудования ( механические мастерские)

## 2. Краткое изложение программного материала

### 2.1. Лекции

#### Лекция 1

### СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

1. [Кристаллическое строение металлов](#)
2. [Кристаллическое строение сплавов](#)
3. [Кристаллизация сплавов](#)
4. [Диаграмма состояния Fe-C](#)
5. [Основы классификации сталей и их маркировка](#)
6. [Цветные металлы и их сплавы](#)

Технически чистые металлы характеризуются низкими прочностными свойствами, поэтому в машиностроении применяют главным образом их сплавы. Сплавы на основе железа называют черными, к ним относят стали и чугуны; на основе алюминия, магния, титана и бериллия, имеющие малую плотность — легкими цветными; на основе меди, свинца, олова и др. — тяжелыми цветными; на основе цинка, кадмия, олова, свинца, висмута и других металлов — легкоплавкими цветными; на основе молибдена, ниобия, циркония, вольфрама, ванадия и других металлов — тугоплавкими цветными.

#### 1. Кристаллическое строение металлов

Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение. Атомы в твердом металле расположены упорядоченно и образуют кристаллические решетки (рис. 1). Расстояния между атомами называют параметрами решеток и измеряют в нанометрах. С повышением температуры или давления параметры решеток могут изменяться. Некоторые металлы в твердом состоянии в различных температурных интервалах приобретают различную кристаллическую решетку, что всегда приводит к изменению их физико-химических свойств.

Существование одного и того же металла в нескольких кристаллических формах носит название полиморфизма, или аллотропии. Перестройка кристаллических решеток при критических температурах называется полиморфными превращениями. Полиморфные модификации обозначаются греческими буквами  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и другими, которые в виде индекса добавляют к символу элемента. Полиморфную модификацию при самой низкой температуре обозначают буквой  $\alpha$ , при более высокой  $\beta$  и т. д.

#### 2. Кристаллическое строение сплавов

Под сплавом подразумевается вещество, полученное сплавлением двух элементов или более. Элементами сплава могут быть металлы и неметаллы. Эти элементы называются компонентами сплава. В сплаве кроме основных компонентов могут содержаться и примеси. Примеси бывают полезные, улучшающие свойства сплава, и вредные, ухудшающие его свойства. Примеси бывают случайные, попадающие в сплав при его приготовлении, и специальные, которые вводят для придания ему требуемых свойств.

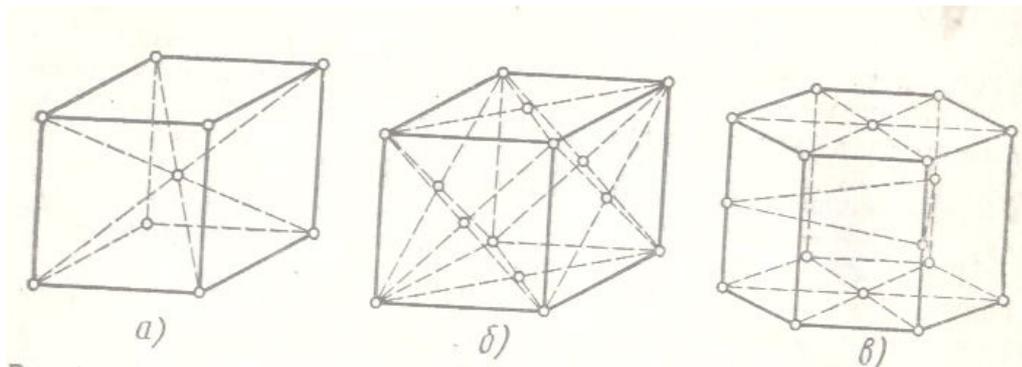


Рис. 1. Кристаллическая решетка:

*a* — объемно-центрированного куба (ОЦК); *б* - гранецентрированного куба (ГЦК);  
*в* - гексагональная плотноупакованная (ГПУ).

Кристаллическое строение сплава более сложное, чем чистого металла, и зависит от взаимодействия его компонентов при кристаллизации. Компоненты в твердом сплаве могут образовывать твердый раствор, химическое соединение и механическую смесь.

*Твердые растворы* — компоненты сплава взаимно растворяются один в другом. В твердом растворе один из входящих в состав сплава компонентов сохраняет присущую ему кристаллическую решетку, а второй компонент в виде отдельных атомов распределяется внутри кристаллической решетки.

*Химическое соединение* — компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие, при этом образуется новая кристаллическая решетка. Компоненты имеют определенное соотношение по массе. *Механическая смесь* — компоненты сплава обладают полной взаимной нерастворимостью и имеют различные кристаллические решетки. При этих условиях сплав будет состоять из смеси кристаллов составляющих ее компонентов. Механическая смесь имеет постоянную температуру плавления. Механическая смесь, образовавшаяся одновременной кристаллизацией из расплава, называется эвтектикой; в процессе превращения в твердом состоянии — эвтектоидом (например  $\text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}_\gamma\text{C}$  — ледебурит;  $\text{Fe}_3\text{C} + \text{Fe}_\alpha\text{C}$  — перлит).

### 3. Кристаллизация сплавов

Процесс перехода сплава из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллических решеток (кристаллов) называется *первичной кристаллизацией*.

Свойства сплавов зависят от образующейся в процессе кристаллизации структуры. Под структурой понимают наблюдаемое кристаллическое строение сплава. Процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей — центров кристаллизации. Скорость кристаллизации зависит от скорости зарождения центров кристаллизации и скорости роста кристаллов: чем больше число образующихся зародышей и скорость их роста, тем быстрее протекает процесс кристаллизации. Структура сплава зависит от формы, ориентировки кристаллических решеток в пространстве и скорости кристаллизации.

Центрами кристаллизации могут быть группы элементарных кристаллических решеток, неметаллические включения и тугоплавкие примеси. Кристаллизация сплава обычно начинается от стенок формы (изложницы). С наибольшей скоростью кристаллы растут в направлении, противоположном отводу теплоты, т. е. перпендикулярно к стенке формы.

Если при кристаллизации рост решеток не ограничивается, то получаются кристаллы неограниченного размера древовидной формы — дендриты (рис. 2). Так как процесс кристаллизации происходит из многих центров кристаллизации, то ветви дендритов при росте могут ограничивать друг друга и искажаться. Кристаллы

неправильной формы называются *зернами*, или *кристаллитами*. Комплекс зерен — это *поликристаллическое тело* (рис. 3).

Зерна отличаются различной ориентацией кристаллических решеток; размер зерен составляет  $1\text{—}10^4$  мкм. Зерна повернуты относительно друг друга на десятки градусов. На границах зерен имеется поврежденный переходный слой толщиной порядка нескольких атомных слоев, свойства и химический состав которого могут отличаться от свойств тела зерна.

Кристаллические решетки зерна могут иметь различные структурные несовершенства: точечные, линейные и поверхностные, которые возникают в результате образования вакансий — мест не занятых атомами; дислоцированных атомов, вышедших из узла решетки; дислокаций, возникающих при появлении в кристалле незаконченных атомных плоскостей; примесных атомов, внедренных в кристаллическую решетку.

При наличии таких несовершенств зерно разделяется на блоки и имеет структуру, которая называется *микромозаичной*. Отдельные мозаики повернуты относительно друг друга на небольшой угол ( $\sim 1^\circ$ ). Решетки соседних блоков не совпадают по ориентации, что приводит к нарушению правильности решеток. Причина возникновения вакансий и дислокаций — нарушение правильности порядка присоединения атомов при росте кристалла или сильное искажение решетки при пластическом деформировании.

Искажение кристаллической решетки и состояние границ зерен в металлах влияют на свойства зерен. Например, прочность может увеличиться вследствие искажения кристаллической решетки вблизи границ или уменьшится в связи с наличием в них примесей, которые всегда присутствуют в расплаве-примеси, растворенные в жидком металле, могут также измельчать зерно и изменять его форму. Примеси при затвердевании в виде тонкого слоя осаждаются на поверхности растущего кристалла и ограничивают его рост. Чем больше скорости охлаждения и зарождения центров кристаллизации, тем больше скорость кристаллизации и тем мелкозернистая структура сплава. При мелкозернистой структуре механические свойства сплава повышаются.

При переходе сплава из жидкого состояния в твердое происходит усадка, сопровождаемая уменьшением удельного объема зерна. В результате усадки между зернами в местах соприкосновения растущих дендритов, в междоузльных пространствах возникают микропустоты, которые могут заполняться неметаллическими включениями (сульфидами, фосфидами и т. п.) или оставаться микроскопическими усадочными раковинами и порами. Такие включения и поры ухудшают механические свойства сплава, так как при его нагреве и приложении к нему нагрузок становятся очагами развития трещин, надрывов и тому подобных дефектов.

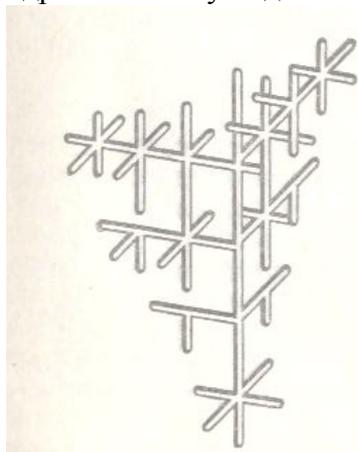


Рис. 2. Кристалл дровидной формы

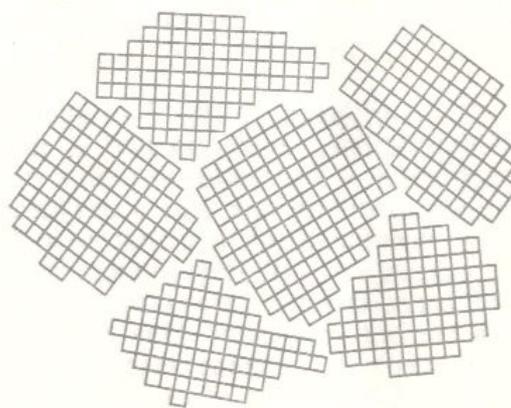


Рис. 3. Схема строения поликристалла

#### 4. Диаграмма состояния Fe-C

В сплавах при охлаждении и нагреве происходят изменения и образуются новые фазы и структуры. Эти изменения можно определить по диаграмме состояния. Диаграммой состояния называется графическое изображение, показывающее фазовый состав и структуру сплавов в зависимости от температуры и химической концентрации компонентов в условиях равновесия.

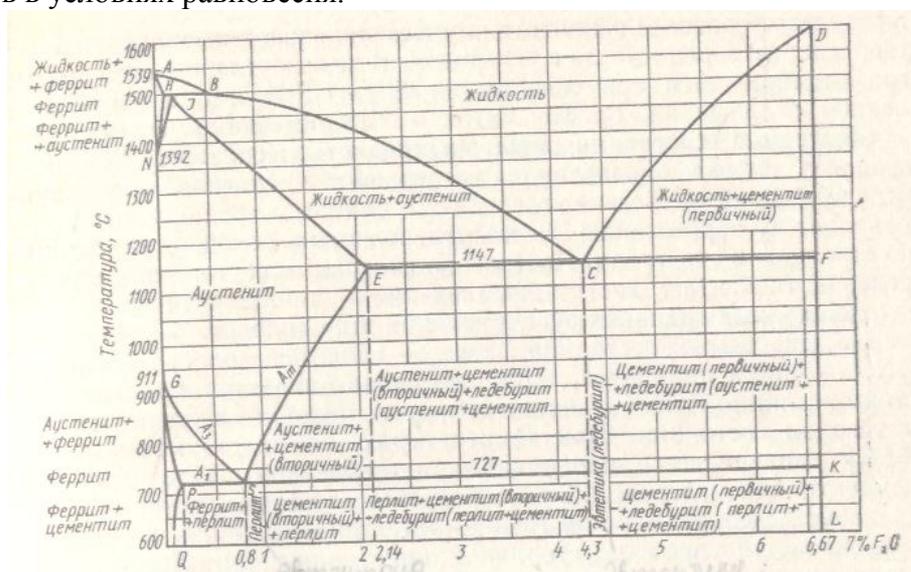


Рис. 4. Диаграмма состояния железо—цементит

**Фаза** — однородная часть системы, отделенная от других частей поверхностью раздела, при переходе через которую свойства сплава изменяются скачкообразно. Большое практическое значение имеет диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов (рис. 4).

Структурные составляющие железоуглеродистых сплавов. В зависимости от температуры и концентрации углерода железоуглеродистые сплавы имеют следующие составляющие:

**аустенит** — твердый раствор углерода в  $\gamma$  — железе с предельной концентрацией углерода 2,14 % при температуре 1145 °С; с понижением температуры до 727 °С концентрация углерода уменьшается до 0,8 %; сталь со структурой аустенита немагнитна и имеет высокие пластичность и вязкость;

**феррит** — твердый раствор углерода в  $\alpha$ -железе с предельной концентрацией углерода 0,02 % при температуре 727 °С; феррит имеет малую твердость и высокую пластичность;

**цементит** — химическое соединение железа с углеродом  $Fe_3C$  (6,67 % C); имеет большие твердость и хрупкость;

**перлит** — механическая смесь (эвтектоид) феррита и цементита, образующаяся при эвтектоидном распаде аустенита (0,8 % C); сталь, имеющая структуру перлита, обладает большими прочностью и твердостью;

**ледобурит** (4,3 % C) — механическая смесь (эвтектика) аустенита или перлита и цементита; ниже 727 °С аустенит превращается в перлит, при этом образуется смесь перлита и цементита;

**графит** — углерод в свободном состоянии, располагается в основной массе металла и имеет развитую объемную форму в виде пластинок; кроме пластинчатого графита можно получить графит компактных форм (шаровидный или хлопьевидный), образующийся в результате распада цементита или выделяющийся из пересыщенности твердых растворов железа с углеродом. В железоуглеродистом сплаве графит образуется при содержании  $Si \geq 1,5$  % и при очень медленном охлаждении. Графит мягок и обладает низкой прочностью.

**Диаграмма состояния железоуглеродистых сплавов.** Основные свойства сплава определяются содержанием главной примеси — углерода. Взаимодействие углерода с  $\alpha$ - или  $\gamma$ -модификациями железа приводит к образованию железоуглеродистых сплавов, различных по строению и свойствам. Построение диаграммы состояния железо—углерод (цементит) дает представление о температурных и концентрационных границах существования этих сплавов.

На диаграмме состояния железо—цементит (рис. 1.7 линия  $ACD$  — линия ликвидуса, выше нее сплав находится в жидком состоянии; линия  $AECF$  — линия солидуса, ниже нее сплав находится в твердом состоянии. При температурах, соответствующих линии  $AECF$  заканчивается первичная кристаллизация. В точке  $C$  при концентрации углерода 4,3 % образуется эвтектика, которая носит название ледебурит. Линия  $PSK$  — эвтектоидная линия, на которой заканчивается процесс вторичной кристаллизации. Линия  $PS$  — линия нижних критических точек  $A_1$ . Линия  $GSE$  — начало процесса вторичной кристаллизации твердого раствора. Линия  $GS$  — линия верхних критических точек  $A_3$ ; она показывает температуру выделения феррита из аустенита. Линия  $SE$  — линия верхних критических точек  $A_m$ ; она показывает температуру начала выделения вторичного цементита и является линией предельной растворимости углерода в аустените. Сплавы, содержащие до 2,14 %  $C$ , условно называют сталями, более 2,14 %  $C$  — чугунами. Сталь, содержащая 0,8 %  $C$ , называется эвтектоидной сталью; сталь, содержащая менее 0,8 %  $C$  — доэвтектоидной. Сталь, содержащая более 0,8 %  $C$  — заэвтектоидной.

**Практическое применение диаграммы Fe—Fe<sub>3</sub>C.** Диаграмму Fe—Fe<sub>3</sub>C используют для определения видов и температурных интервалов термической обработки стали; для назначения температурного интервала при обработке давлением; для определения температуры плавления и заливки сплава и его литейных свойств (жидкотекучести, усадки).

Основой процессов термической обработки является полиморфизм железа и его твердых растворов на базе  $\alpha$ - и  $\gamma$ -железа. Полиморфные превращения стали данного состава происходят в определенном интервале температур, ограниченном нижней  $A_1$  и верхними  $A_3$  и  $A_m$  критическими точками.

В результате полиморфизма происходит перекристаллизация в твердом состоянии. Перекристаллизация — это изменение кристаллического строения стали при ее нагреве или при охлаждении до определенных температур.

Таким образом, *термическая обработка* заключается в нагреве сплавов до определенных температур, выдержке их при этих температурах и последующем охлаждении с различной скоростью. При этом изменяются структура сплава, а следовательно, и его свойства. Изменяя режим термической обработки, можно получить различные физико-механические свойства и структуры железоуглеродистых сплавов.

Основные операции термической обработки — отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг — фазовая перекристаллизация, нагрев доэвтектоидной стали выше точки  $A_3$ , заэвтектоидной выше точки  $A_m$  с последующим охлаждением вместе с печью. При полном отжиге структура сплава состоит из феррита и перлита (доэвтектоидные стали) или из перлита и вторичного цементита (заэвтектоидные стали). Отжиг снимает внутреннее напряжение, понижает твердость и повышает пластичность, устраняет химическую неоднородность. Неполный отжиг — нагрев выше точки  $A_1$ , но ниже  $A_3$ ; происходит неполная фазовая перекристаллизация.

Нормализация — нагрев выше точки  $A_3$ , охлаждение на воздухе; измельчение зерна и повышение прочности.

Закалка — нагрев выше точки  $A_3$ , быстрое охлаждение в воде или масле; повышение твердости и прочности.

Регулируя скорость охлаждения стали из аустенитного состояния, можно получать различные структуры: мартенсит, троостит, сорбит и перлит.

Структура мартенсита образуется при быстром охлаждении в результате перехода решетки твердого раствора  $\gamma$ -железа (аустенита) в решетку твердого раствора  $\alpha$ -железа (феррита) без выделения углерода из раствора. Переход  $\gamma$ -железа в  $\alpha$ -железо сопровождается изменением объемов кристаллических решеток, что вызывает появление внутренних, дополнительных напряжений. Мартенсит представляет собой пересыщенный раствор углерода в  $\alpha$ -железе с искаженной кристаллической решеткой. Сплав со структурой мартенсита обладает большой твердостью и прочностью.

Структура троостита образуется при более медленном охлаждении и представляет собой смесь феррита и цементита с высокой дисперсностью. Троостит имеет меньшую твердость и прочность, чем мартенсит.

Структура сорбита образуется еще при более медленном охлаждении. Зерна феррита укрупняются, образуется мелкодисперсная феррито-карбидная смесь.

Структура перлита образуется в результате очень медленного охлаждения сплава вместе с печью и является у эвтектоидных сталей конечной структурой распада аустенита; у доэвтектоидных сталей конечной структурой будет грубая смесь феррита и перлита; у заэвтектоидных сталей — смесь перлита и цементита.

Отпуск — нагрев ниже точки  $A_1$  и медленное охлаждение; его применяют как сопутствующую операцию после закалки для получения более устойчивых структур. Высокий отпуск (нагрев до температуры  $700\text{ }^\circ\text{C}$ ) применяют для повышения пластичности и обрабатываемости при небольшом снижении прочности закаленной стали; низкий отпуск (нагрев до температуры  $250\text{ }^\circ\text{C}$ ) применяют для повышения вязкости закаленной стали при сохранении прочности.

**Температурный интервал при горячей обработке давлением.**

Этот интервал находится ниже линии солидуса на  $100\text{—}150\text{ }^\circ\text{C}$  (верхний предел) и выше линии критических точек  $A_3$  на  $25\text{—}50\text{ }^\circ\text{C}$  (нижний предел).

Температуру плавления определяют по линии ликвидуса. Температура заливки должна быть выше линии ликвидуса.

## 5. Основы классификации сталей и их маркировка

**Классификация сталей.** Стали классифицируют по химическому составу, качеству и назначению. По химическому составу классифицируют главным образом конструкционные стали. Конструкционными называют стали, предназначенные для изготовления деталей машин и металлических конструкций. Конструкционные стали делят на углеродистые и легированные.

Углеродистые стали могут быть низкоуглеродистые  $C \leq 0,09 \div 0,25\text{ } \%$ ; среднеуглеродистые  $C \leq 0,25 \div 0,45\text{ } \%$  и высокоуглеродистые  $C \leq 0,45 \div 0,75\text{ } \%$ . Легированные стали условно подразделяют на низколегированные с содержанием легирующих элементов в сумме  $2,5\text{—}5\text{ } \%$ ; среднелегированные — до  $10\text{ } \%$  и высоколегированные — более  $10\text{ } \%$ .

Другие стали, например инструментальные, с особыми физико-химическими свойствами по химическому составу обычно не классифицируют.

Качество сталей определяется условиями металлургического производства и содержанием в них вредных примесей. Стали классифицируют на группы А, Б, В.

К группе А относят стали обыкновенного качества. Они могут иметь повышенное содержание серы (до  $0,05\text{ } \%$ ) и фосфора (до  $0,07\text{ } \%$ ).

Механические свойства сталей обыкновенного качества ниже механических свойств сталей других групп. Основным элементом, определяющим механические свойства этих сталей, является углерод. Их выплавляют в кислородных конвертерах и мартеновских печах. Стали обыкновенного качества подразделяют на спокойные (полностью раскисленные), кипящие (не полностью раскисленные) и полуспокойные

(занимающие промежуточное положение между спокойными и кипящими). Спокойные, полуспокойные и кипящие стали обозначают в конце марки буквами соответственно «сп»; «пс» и «кп».

К группе Б относят качественные стали — углеродистые или легированные. В этих сталях содержание серы и фосфора не должно превышать 0,035 % каждого. Выплавляют их в основных мартеновских печах.

К группе В относят высококачественные стали, главным образом легированные, выплавляемые в электропечах. В этих сталях содержание серы и фосфора не должно превышать 0,025 % каждого.

Особовысококачественные стали выплавляют в электропечах с последующими электрошлаковым переплавом, вакуумнодуговым переплавом и т. п. Содержание серы и фосфора — до 0,015 % каждого.

По назначению стали подразделяют на строительные, машиностроительные (конструкционные, общего назначения), инструментальные, машиностроительные специализированного назначения, с особыми физическими свойствами, с особыми химическими свойствами (устойчивые к коррозии).

Строительные стали — это углеродистые и некоторые низколегированные стали с небольшим содержанием углерода; стали обыкновенного качества.

Для машиностроительных сталей (конструкционных) общего назначения главной характеристикой являются их механические свойства, которые зависят от содержания углерода, изменяющегося в пределах 0,05—0,75 %.

Инструментальные стали имеют высокие твердость, прочность и износостойкость. Их используют для изготовления режущего и измерительного инструментов, штампов и т. д. Твердость и вязкость зависят от содержания в инструментальных сталях углерода.

Машиностроительные стали и сплавы специализированного назначения характеризуются их механическими свойствами при низких и высоких температурах; физическими, химическими и технологическими свойствами. Они могут быть использованы для эксплуатации в особых условиях (при температурах ниже 0 °С, при нагреве, динамических нагрузках и т. п.).

Стали и сплавы с особыми физическими свойствами получают в результате специального легирования и термической обработки. Их применяют в основном в приборостроении, электронной, радиотехнической промышленности и т. д.

Стали и сплавы с особыми химическими свойствами (стойкие к коррозии) содержат не менее 12,5—13 % Cr. Стали с высоким содержанием хрома и никеля — стойкие в агрессивных средах.

**Маркировка сталей.** Стали обыкновенного качества обозначают **СтО—Ст6**. Чем выше номер, тем выше содержание углерода и прочностные свойства стали.

Качественные, высококачественные и особовысококачественные стали маркируют следующим образом. Содержание углерода указывают в начале марки цифрой, соответствующей его содержанию: в сотых долях процента для сталей, содержащих до 0,75 % С (конструкционные стали), и в десятых долях процента для сталей, имеющих более 0,75 % С (инструментальные стали). Соответственно сталь, содержащую до 0,1 % С, обозначают сталь 10, сталь с 0,5 % С — сталь 50, сталь с 1 % С — сталь У10.

Легированные элементы обозначают русскими буквами, например Н (никель); Г (марганец); Х (хром); С (кремний) и т. д. Если после буквы нет цифры, то сталь содержит 1—1,5 % легирующего элемента, кроме молибдена и ванадия, содержание которых в сталях обычно до 0,2—0,3 %, если стоит цифра, то она указывает содержание легирующего элемента в процентах.

Различие в обозначении качественной стали по сравнению с высококачественной сталью состоит в том, что в конце марки высококачественной стали ставят букву «А»:

сталь 30ХНМ — качественная, а стали 30ХНМА и У10А — высококачественные. В конце марки особовысококачественной стали электрошлакового переплава стоит буква «Ш».

Для некоторых высококачественных сталей бывают следующие отклонения в обозначении. Все легированные стали и сплавы с особыми физическими свойствами всегда высококачественные, поэтому в марках этих сталей букву «А» не ставят. Шарикоподшипниковые стали обозначают в начале марки буквами «ШХ», затем стоит содержание хрома в десятых долях процента, например, сталь ШХ15. Быстрорежущие сложнoleгированные стали обозначают буквой «Р», следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней вольфрама.

Электротехнические стали обозначают буквой «Э»; следующая за ней цифра указывает на процентное содержание в ней кремния.

## 6. Цветные металлы и их сплавы

Алюминий — легкий металл {плотность  $2700 \text{ кг/м}^3$ }, обладает высокими теплопроводностью [ $200 \text{ Вт/(м·К)}$ ] и электропроводимостью ( $10^{-6} \text{ См}$ ), стоек к коррозии. Температура плавления алюминия  $658 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Алюминиевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные. Те и другие могут быть неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые алюминиевые сплавы хорошо обрабатываются прокаткой, ковкой, штамповкой. К деформируемым алюминиевым сплавам, не упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al—Mn (АМц), содержащие до 1,6 % Mn, и сплавы системы Al—Mg (АМг), содержащие до 5,8 % Mg. Эти сплавы обладают высокой пластичностью и невысокой прочностью.

К деформируемым алюминиевым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относятся сплавы системы Al—Cu—Mg с добавками некоторых элементов (дуралюмины, ковочные сплавы), а также высокопрочные и жаропрочные сплавы сложного химического состава. Дуралюмины (Д16—Д18) содержат 3,8—4,8 % Cu, 0,4—1,8 % Mg, а также 0,4—0,9 % Mn, который повышает коррозионную стойкость сплавов. После термической обработки (закалка и естественное старение) эти сплавы имеют высокую прочность и удлинение. Ковочные сплавы (АК6—АК8) содержат 1,8—4,8 % Cu, 0,4—0,8% Mg, 0,4—1 % Mn, 0,6—1,2% Si, хорошо деформируются в нагретом состоянии, обладают высокой прочностью после закалки и старения. Их используют для изготовления крыльчаток, рам, фитингов обработкой давлением.

Литейные алюминиевые сплавы применяют для изготовления деталей машин и приборов литьем. Наиболее широко используют сплавы алюминия с содержанием 10—13 % Si (системы Al—Si): АЛ2, АЛ4, АЛ9.

Сплавы алюминия с медью (системы Al—Cu, содержащие 4,5—5,3 % Cu) и марганцем (до 1 % Mn) обладают повышенной прочностью. Это сплавы АЛ7, АЛ19 и др. Их применяют для литья деталей, работающих при достаточно высоких нагрузках (кронштейны, арматура и др.).

Сплавы алюминия с магнием (системы Al—Mg, содержащие 9,5—11,5 % Mg) обладают хорошей коррозионной стойкостью и применяются для отливок, работающих во влажной атмосфере. Это сплавы АЛ8, АЛ13. Часто отливки из алюминиевых литейных сплавов подвергают термической обработке (закалке и старению) для повышения прочности, пластичности, снижения остаточных напряжений.

Алюминий применяют для приготовления спеченных алюминиевых сплавов (САС) и спекаемых алюминиевых пудр (САП), из которых изготавливают детали методами порошковой металлургии, позволяющей получать детали с особыми свойствами — коррозионной стойкостью, прочностью, пористостью и т. д.

**Магний** — легкий металл (плотность  $1740 \text{ кг/м}^3$ ), температура его плавления  $651 \text{ }^\circ\text{C}$ . Промышленный магний марки Мг 96 содержит 99,92 % Mg, марки Мг 95 — 99,82 %

Mg. Магниевые сплавы разделяют на деформируемые и литейные, не упрочняемые и упрочняемые термической обработкой.

Деформируемые магниевые сплавы (МА) содержат до 2 % Mn, до 5 % Al, десятые доли процента церия, например сплавы МА2, МА8, не упрочняемые термической обработкой; высокопрочные сплавы — до 9 % Al и 0,5 % Mn (сплав МА5). Жаропрочные магниевые сплавы содержат добавки циркония, никеля и др.

Литейные магниевые сплавы (МЛ6, МЛ3) содержат 2,5—9 % Al и 0,5—1,5 % Zn, а также 0,15—0,5 % Mn, имеют невысокий модуль упругости ( $E = 43\ 000$  МПа) и вследствие этого хорошие демпфирующие свойства (гасят колебания конструкция). Однако эти сплавы обладают невысокой коррозионной стойкостью, и для ее повышения отливки оксидируют, покрывают лаками.

Технически чистая медь имеет плотность  $8940\text{ кг/м}^3$ , температуру плавления  $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$ , обладает высокой пластичностью, коррозионной стойкостью, малым удельным электросопротивлением ( $7\cdot 10^{-8}$  Ом\*м), высокой теплопроводностью [ $385\text{ Вт/(м*К)}$ ], и поэтому ее широко используют для изготовления электропроводов, деталей электрических машин и приборов, в химическом машиностроении. Медь по чистоте подразделяют на марки М0 (99,95 % Cu), М1 (99,9 % Cu), М2 (99,7 % Cu), М3 (99,5 % Cu), М4 (99 % Cu).

Медные сплавы разделяют на бронзы и латуни. Бронзы — это сплавы меди с оловом (4—33 % Sn), свинцом (30 % Pb), алюминием (5—11 % Al), кремнием (4—5 % Si), сурьмой и фосфором. Латунни — это сплавы меди с цинком (до 50 % Zn) с небольшими добавками алюминия, кремния, никеля, марганца. Медные сплавы обозначают начальными буквами их названия (Л — латунь, Бр — бронза), после чего следует первые буквы основных названий элементов, образующих сплав, и цифры, указывающие количестве легирующего элемента в процентах. Например, ЛЦ40Мц1,5 — латунь, содержащая 40 % Zn, 1,5 % Mn, остальное Cu.

Бронзы и латуни разделяют на деформируемые и литейные. Литейные бронзы и латуни отличаются от деформируемых тем, что в их состав вводят добавки, улучшающие литейные свойства сплава — повышающие жидкотекучесть, уменьшающие усадку. Однако эти добавки снижают пластические свойства литейных бронз и латуней по сравнению с деформируемыми.

**Титан** — тугоплавкий металл [температура плавления  $(1665\pm 55)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ], плотность  $4500\text{ кг/м}^3$ . Временное сопротивление чистого титана  $\sigma_{\text{в}} = 250$  МПа, относительное удлинение  $\delta = 70\%$ , он обладает высокой коррозионной стойкостью. Удельная прочность титана выше, чем у многих легированных конструкционных сталей. Поэтому при замене сталей титановыми сплавами можно при равной прочности уменьшить массу детали на 40 %. Однако титан имеет низкую жаропрочность, так как при температурах выше  $550\text{—}600\text{ }^{\circ}\text{C}$  легко окисляется и поглощает водород. Титан хорошо обрабатывается давлением, сваривается, из него изготавливают сложные отливки, но обработка его резанием затруднительна.

Для получения сплавов с заданными свойствами титан легируют алюминием, молибденом и др. Наибольшее применение нашли сплавы, легированные алюминием, например сплав ВТ5 (до 5 % Al) с  $\sigma_{\text{в}} = 700\div 900$  МПа,  $\delta = 10\div 12\%$ . Из этого сплава получают поковки, отливки.

Для получения требуемых механических свойств титановые сплавы подвергают термической обработке (отжигу, закалке и старению) в печах с защитной атмосферой. Титан и его сплавы используют для изготовления деталей самолетов, в химическом машиностроении, судостроении и других отраслях машиностроения.

## Лекция 2 ОСНОВЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА.

1. [Материалы для производства металлов и сплавов](#)
2. [Производство чугуна](#)
3. [Выплавка чугуна](#)
4. [Продукты доменной плавки](#)
5. [Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей](#)

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах. Оно включает:

- шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогащительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке;
- коксохимические заводы (подготовка углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов);
- энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов;
- доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы для производства ферросплавов;
- сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные);
- прокатные цехи (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция чёрной металлургии:

- чугуны: пердедельный, используемый для передела на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок;
- железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали;
- ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т.д.) для легированных сталей;
- стальные слитки для производства проката,
- стальные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков (кузнечные слитки).

Основная продукция цветной металлургии:

- слитки цветных металлов для производства проката;
- слитки для изготовления отливок на машиностроительных заводах;
- лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов;
- слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

### 1. Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.

*Промышленная руда* – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30...60 % для железа, 3..5% для меди, 0,005...0,02 % для молибдена).

Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые.

В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

*Флюсы* – материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды или концентратом и золой топлива. Такое соединение называется шлаком.

Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды ( $SiO_2, P_2O_5$ ), и основным, если в его составе больше основных оксидов ( $CaO, MgO, FeO$ ).

Вводят в виде агломерата и окатышей.

*Топливо* – в металлургических печах используется кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ.

Кокс получают сухой перегонкой при температуре  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80...88 % углерода, 8...12 % золы, 2...5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25...60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды.

*Огнеупорные материалы* применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла.

Они способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов.

По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые (кварцевый песок, диносовый кирпич), основные (магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич), нейтральные (шамотный кирпич).

Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи.

Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92 % углерода в виде графита, обладают повышенной огнеупорностью. Применяются для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

## 2. Производство чугуна.

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды, топливо, флюсы.

К железным рудам относятся:

– магнитный железняк ( $Fe_3O_4$ ) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА);

– красный железняк ( $Fe_2O_3$ ) с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Кривой Рог, КМА;

– бурый железняк (гидраты оксидов железа  $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$  и  $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ ) с содержанием железа 37...55 % – Керчь.

Марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца (10...82%  $Mn$ ), а также передельных чугунов, содержащих до 1% марганца. Марганец в рудах содержится в виде окислов и карбонатов:  $MnO_2, Mn_2O_3, Mn_3O_4, MnCO_3$  и др..

Хромовые руды применяются для производства феррохрома, металлического хрома и огнеупорных материалов – хромомagneзитов.

*Топливом* для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк  $\text{CaCO}_3$  или доломитизированный известняк, содержащий  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , так как в шлак должны входить основные оксиды ( $\text{CaO}, \text{MgO}$ ), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна.

Метод подготовки зависит от качества руды.

Дробление и сортировка руд по крупности служат для получения кусков оптимальной величины, осуществляются с помощью дробилок и классификаторов.

Обогащение руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав:

- а) промывка – отделение плотных составляющих от пустой рыхлой породы;
- б) гравитация (отсадка) – отделение руды от пустой породы при пропускании струи воды через дно вибрирующего сита: пустая порода вытесняется в верхний слой и уносится водой, а рудные минералы опускаются;
- в) магнитная сепарация – измельчённую руду подвергают действию магнита, притягивающего железосодержащие минералы и отделяющего их от пустой породы.

Окусковывание производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров. Применяют два способа окусковывания: агломерацию и окатывание.

При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50 %), известняка (15...20 %), возврата мелкого агломерата (20...30 %), коксовой мелочи (4...6 %), влаги (6...9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат,

При окатывании шихту из измельчённых концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350 °С.

Использование агломерата и окатышей исключает отдельную подачу флюса-известняка в доменную печь при плавке.

### 3. Выплавка чугуна.

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – доменных печах.

Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твёрдым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

При выплавке чугуна решаются задачи:

1. Восстановление железа из окислов руды, науглероживание его и удаление в виде жидкого чугуна определённого химического состава.
2. Оплавление пустой породы руды, образование шлака, растворение в нём золы кокса и удаление его из печи.

Устройство и работа доменной печи.

Доменная печь (рис. 5) имеет стальной кожух, выложенный огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещады 15.

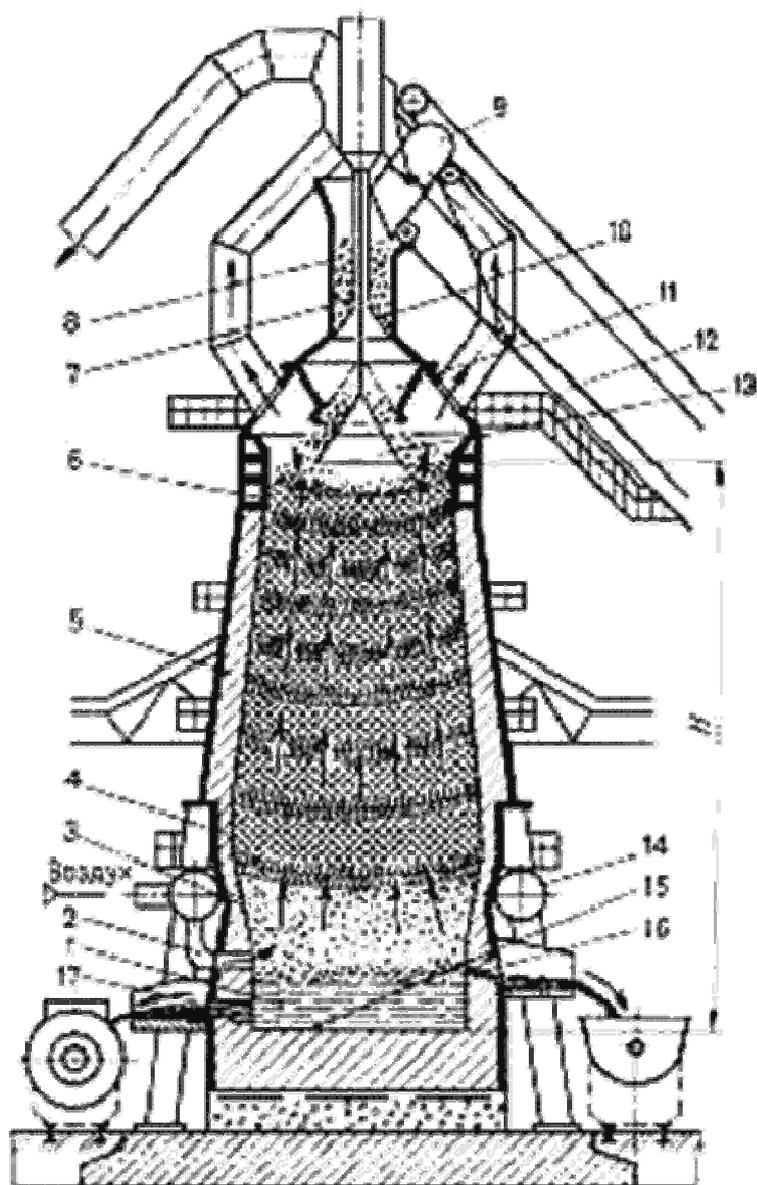


Рис. 5. Устройство доменной печи

В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту. Шихту подают в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу.

При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство подают новые порции шихты, чтобы весь полезный объем был заполнен.

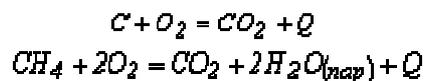
Полезный объем печи – объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании.

Полезная высота доменной печи ( $H$ ) достигает 35 м, а полезный объем – 2000...5000 м<sup>3</sup>.

В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух поступает из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка из огнеупорного кирпича, в которой имеются вертикальные каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный доменный газ, который, сгорая, образует горячие газы. Проходя через насадку, газы нагревают ее и удаляются через дымовую трубу. Через насадку пропускается воздух, он нагревается до температуры 1000...1200 °С и поступает к

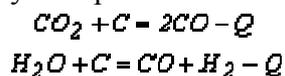
фурменному устройству, а оттуда через фурмы 2 – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

*Горение топлива.* Вблизи фурм природный газ и углерод кокса, взаимодействуя с кислородом воздуха, сгорают:



В результате горения выделяется большое количество теплоты, в печи выше уровня фурм развивается температура выше 2000 °С.

Продукты сгорания взаимодействуют с раскаленным коксом по реакциям:



Образуется смесь восстановительных газов, в которой окись углерода  $CO$  является главным восстановителем железа из его оксидов. Для увеличения производительности подаваемый в доменную печь воздух увлажняется, что приводит к увеличению содержания восстановителя.

Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 300...400 °С у колошника.

Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре около 570 °С начинается восстановление оксидов железа.

*Восстановление железа в доменной печи.*

Закономерности восстановления железа выявлены академиком Байковым А.А.

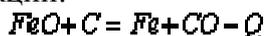
Восстановление железа происходит по мере продвижения шихты вниз по шахте и повышения температуры от высшего оксида к низшему, в несколько стадий:



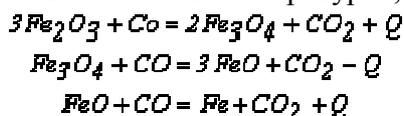
Температура определяет характер протекания химических реакций.

Восстановителями оксидов железа являются твердый углерод, оксид углерода и водород.

Восстановление твердым углеродом (коксом) называется *прямым восстановлением*, протекает в нижней части печи (зона распара), где более высокие температуры, по реакции:



Восстановление газами ( $CO$  и  $H_2$ ) называется *косвенным восстановлением*, протекает в верхней части печи при сравнительно низких температурах, по реакциям:



За счет  $CO$  и  $H_2$  восстанавливаются все высшие оксиды железа до низшего и 40...60 % металлического железа.

При температуре 1000...1100 °С восстановленное из руды твердое железо, взаимодействуя с оксидом углерода, коксом и сажистым углеродом, интенсивно растворяет углерод. При насыщении углеродом температура плавления понижается и на уровне распара и заплечиков железо расплавляется (при температуре около 1300 °С).

Капли железоуглеродистого сплава, протекая по кускам кокса, дополнительно насыщаются углеродом (до 4%), марганцем, кремнием, фосфором, которые при температуре 1200 °С восстанавливаются из руды, и серой, содержащейся в коксе.

В нижней части доменной печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. Шлаки содержат  $Al_2O_3, CaO, MgO, SiO_2, MnO, FeO, CaS$ . Шлак образуется постепенно, его состав меняется по мере стекания в горн, где он скапливается на поверхности жидкого чугуна, благодаря меньшей плотности. Состав шлака зависит от состава применяемых шихтовых материалов и выплавляемого чугуна.

Чугун выпускают из печи каждые 3...4 часа через чугунную летку 16, а шлак – каждые 1...1,5 часа через шлаковую летку 17 (летка – отверстие в кладке, расположенное выше лещади).

Летку открывают бурильной машиной, затем закрывают огнеупорной массой. Сливают чугун и шлак в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши.

Чугун поступает в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи, или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

#### 4. Продукты доменной плавки

Основным продуктом доменной плавки является **чугун**.

Передельный чугун предназначен для дальнейшего передела в сталь. На его долю приходится 90 % общего производства чугуна. Обычно такой чугун содержит 3,8...4,4 % углерода, 0,3...1,2 % кремния, 0,2...1 % марганца, 0,15...0,20 % фосфора, 0,03...0,07 % серы.

*Литейный чугун* применяется после переплава на машиностроительных заводах для получения фасонных отливок.

Кроме чугуна в доменных печах выплавляют

*Ферросплавы* – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для раскисления и легирования стали.

Побочными продуктами доменной плавки являются *шлак* и *доменный газ*.

Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, удобрения (стараятся получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды).

Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

#### 5. Важнейшие технико-экономические показатели работы доменных печей

1. Коэффициент использования полезного объема доменной печи (**КИПО**) – это отношение полезного объема печи  $V$  ( $\text{м}^3$ ) к ее среднесуточной производительности  $P$  ( $\text{т}$ ) выплавленного чугуна.

$$\text{КИПО} = \frac{V}{P} \text{ (м}^3/\text{т)}$$

Чем ниже КИПО, тем выше производительность печи. Для большинства доменных печей КИПО = 0,5...0,7 (для передовых – 0,45)

2. Удельный расход кокса, **К** – это отношение расхода кокса за сутки  $A$  ( $\text{т}$ ) к количеству чугуна, выплавленного за это же время  $P$  ( $\text{т}$ ).

$$K = \frac{A}{P}$$

Удельный расход кокса в доменных печах составляет 0,5...0,7 (для передовых – 0,36...0,4)

**К** – важный показатель, так как стоимость кокса составляет более 50% стоимости чугуна.

#### Лекция 3

#### Композиционные материалы. Материалы порошковой металлургии: пористые, конструкционные, электротехнические

1. [Композиционные материалы](#)
2. [Материалы порошковой металлургии](#)

3. [Пористые порошковые материалы](#)
4. [Прочие пористые изделия.](#)
5. [Конструкционные порошковые материалы](#)
6. [Спеченные цветные металлы.](#)
7. [Электротехнические порошковые материалы](#)
8. [Магнитные порошковые материалы.](#)

### ***Композиционные материалы***

*Композиционные материалы* – искусственно созданные материалы, которые состоят из двух или более компонентов, различающихся по составу и разделенных выраженной границей, и которые имеют новые свойства, запроектированные заранее.

Компоненты композиционного материала различны по геометрическому признаку.

Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется *матрицей*.

Компонент прерывистый, разделенный в объеме композиционного материала, называется *арматурой*.

Матрица придает требуемую форму изделию, влияет на создание свойств композиционного материала, защищает арматуру от механических повреждений и других воздействий среды.

В качестве матриц в композиционных материалах могут быть использованы металлы и их сплавы, полимеры органические и неорганические, керамические, углеродные и другие материалы. Свойства матрицы определяют технологические параметры процесса получения композиции и ее эксплуатационные свойства: плотность, удельную прочность, рабочую температуру, сопротивление усталостному разрушению и воздействию агрессивных сред.

Армирующие или упрочняющие компоненты равномерно распределены в матрице. Они, как правило, обладают высокой прочностью, твердостью и модулем упругости и по этим показателям значительно превосходят матрицу. Вместо термина армирующий компонент можно использовать термин наполнитель.

Композиционные материалы классифицируют по геометрии наполнителя, расположению его в матрице, природе компонентов.

По геометрии наполнителя композиционные материалы подразделяются на три группы:

- с нуль-мерными наполнителями, размеры которых в трех измерениях имеют один и тот же порядок;
- с одномерными наполнителями, один из размеров которых значительно превышает два других;
- с двумерными наполнителями, два размера которых значительно превышают третий.

По схеме расположения наполнителей выделяют три группы композиционных материалов:

- с одноосным (линейным) расположением наполнителя в виде волокон, нитей, нитевидных кристаллов в матрице параллельно друг другу;
- с двухосным (плоскостным) расположением армирующего наполнителя, матов из нитевидных кристаллов, фольги в матрице в параллельных плоскостях;
- с трехосным (объемным) расположением армирующего наполнителя и отсутствием преимущественного направления в его расположении.

По природе компонентов композиционные материалы разделяются на четыре группы:

- композиционные материалы, содержащие компонент из металлов или сплавов;

- композиционные материалы, содержащие компонент из неорганических соединений оксидов, карбидов, нитридов и др.;
- композиционные материалы, содержащие компонент из неметаллических элементов, углерода, бора и др.;
- композиционные материалы, содержащие компонент из органических соединений эпоксидных, полиэфирных, фенольных и др.

Свойства композиционных материалов зависят не только от физико-химических свойств компонентов, но и от прочности связи между ними. Максимальная прочность достигается, если между матрицей и арматурой происходит образование твердых растворов или химических соединений.

В композиционных материалах с нуль-мерным наполнителем наибольшее распространение получила металлическая матрица. Композиции на металлической основе упрочняются равномерно распределенными дисперсными частицами различной дисперсности. Такие материалы отличаются изотропностью свойств.

В таких материалах матрица воспринимает всю нагрузку, а дисперсные частицы наполнителя препятствуют развитию пластической деформации. Эффективное упрочнение достигается при содержании 5...10 % частиц наполнителя.

Армирующими наполнителями служат частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов.

Дисперсионно упрочненные композиционные материалы получают методами порошковой металлургии или вводят частицы армирующего порошка в жидкий расплав металла или сплава.

Промышленное применение нашли композиционные материалы на основе алюминия, упрочненные частицами оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ). Их получают прессованием алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП). Преимущества САП проявляются при температурах выше  $300^\circ C$ , когда алюминиевые сплавы разупрочняются. Дисперсионно упрочненные сплавы сохраняют эффект упрочнения до температуры  $0,8 T_{пл}$ .

Сплавы САП удовлетворительно деформируются, легко обрабатываются резанием, свариваются аргодуговой и контактной сваркой. Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, труб, фольги. Из них изготавливают лопатки компрессоров, вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

В композиционных материалах с одномерными наполнителями упрочнителями являются одномерные элементы в форме нитевидных кристаллов, волокон, проволоки, которые скрепляются матрицей в единый монолит. Важно, чтобы прочные волокна были равномерно распределены в пластичной матрице. Для армирования композиционных материалов используют непрерывные дискретные волокна с размерами в поперечном сечении от долей до сотен микрометров.

Материалы, армированные нитевидными монокристаллами, были созданы в начале семидесятых годов для авиационных и космических конструкций. Основным способом выращивания нитевидных кристаллов является выращивание их из перенасыщенного пара (ПК-процесс). Для производства особо высокопрочных нитевидных кристаллов оксидов и других соединений осуществляется рост по П-Ж-К – механизму: направленный рост кристаллов происходит из парообразного состояния через промежуточную жидкую фазу.

Осуществляется создание нитевидных кристаллов вытягиванием жидкости через фильеры. Прочность кристаллов зависит от сечения и гладкости поверхности.

Композиционные материалы этого типа перспективны как высокожаропрочные материалы. Для увеличения к.п.д. тепловых машин лопатки газовых турбин изготавливают из никелевых сплавов, армированных нитями сапфира ( $Al_2O_3$ ), это позволяет значительно повысить температуру на входе в турбину (предел прочности сапфировых кристаллов при температуре  $1680^\circ C$  выше 700 МПа).

Армирование сопел ракет из порошков вольфрама и молибдена производят кристаллами сапфира как в виде войлока, так и отдельных волокон, в результате этого удалось удвоить прочность материала при температуре 1650°C. Армирование пропиточного полимера стеклотекстолитов нитевидными волокнами увеличивает их прочность. Армирование литого металла снижает его хрупкость в конструкциях. Перспективно упрочнение стекла неориентированными нитевидными кристаллами.

Для армирования композиционных материалов применяют металлическую проволоку из разных металлов: стали разного состава, вольфрама, ниобия, титана, магния – в зависимости от условий работы. Стальная проволока перерабатывается в тканые сетки, которые используются для получения композиционных материалов с ориентацией арматуры в двух направлениях.

Для армирования легких металлов применяются волокна бора, карбида кремния. Особенно ценными свойствами обладают углеродистые волокна, их применяют для армирования металлических, керамических и полимерных композиционных материалов.

*Эвтектические композиционные материалы* – сплавы эвтектического или близкого к эвтектическому состава, в которых упрочняющей фазой выступают ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации. В отличие от обычных композиционных материалов, эвтектические получают за одну операцию. Направленная ориентированная структура может быть получена на уже готовых изделиях. Форма образующихся кристаллов может быть в виде волокон или пластин. Способами направленной кристаллизации получают композиционные материалы на основе алюминия, магния, меди, кобальта, титана, ниобия и других элементов, поэтому они используются в широком интервале температур.

*Полимерные композиционные материалы.* Особенностью является то, что матрицу образуют различные полимеры, служащие связующими для арматуры, которая может быть в виде волокон, ткани, пленок, стеклотекстолита.

Формирование полимерных композиционных материалов осуществляется прессованием, литьем под давлением, экструзией, напылением.

Широкое применение находят смешанные полимерные композиционные материалы, куда входят металлические и полимерные составляющие, которые дополняют друг друга по свойствам. Например, подшипники, работающие в условиях сухого трения, изготавливают из комбинации фторопласта и бронзы, что обеспечивает самосмазываемость и отсутствие ползучести.

Созданы материалы на основе полиэтилена, полистирола с наполнителями в виде асбеста и других волокон, обладающие высокими прочностью и жесткостью.

### ***Материалы порошковой металлургии***

*Порошковая металлургия* – область техники, охватывающая процессы получения порошков металлов и металлоподобных соединений и процессы изготовления изделий из них без расплавления.

Характерной особенностью порошковой металлургии является применение исходного материала в виде порошков, из которых прессованием формируются изделия заданной формы и размеров. Полученные заготовки подвергаются спеканию при температуре ниже температуры плавления основного компонента.

Основными достоинствами технологии производства изделий методом порошковой металлургии являются

1. возможность изготовления деталей из тугоплавких металлов и соединений, когда другие методы использовать невозможно;
2. значительная экономия металла за счет получения изделий высокой точности, в минимальной степени нуждающихся в последующей механической обработке (отходы составляют не более 1...3 %);

3. возможность получения материалов максимальной чистоты;
4. простота технологии порошковой металлургии.

Методом порошковой металлургии изготавливают твердые сплавы, пористые материалы: антифрикционные и фрикционные, фильтры; электропроводники, конструкционные детали, в том числе работающие при высоких температурах и в агрессивных средах.

### ***Пористые порошковые материалы***

Отличительной особенностью является наличие равномерной объемной пористости, которая позволяет получать требуемые эксплуатационные свойства.

*Антифрикционные материалы (пористость 15...30 %)*, широко применяющиеся для изготовления подшипников скольжения, представляют собой пористую основу, пропитанную маслом. Масло поступает из пор на поверхность, и подшипник становится самосмазывающимся, не требуется подводить смазку извне. Это существенно для чистых производств (пищевая, фармацевтическая отрасли). Такие подшипники почти не изнашивают поверхность вала, шум в 3...4 раза меньше, чем от шариковых подшипников.

Подшипники работают при скоростях трения до 6 м/с при нагрузках до 600 МПа. При меньших нагрузках скорости скольжения могут достигать 20...30 м/с. Коэффициент трения подшипников – 0,04...0,06.

Для изготовления используются бронзовые или железные порошки с добавлением графита (1...3 %).

Разработаны подшипниковые спеченные материалы на основе тугоплавких соединений (боридов, карбидов и др.), содержащие в качестве твердой смазки сульфиды, селениды и гексагональный нитрид бора. Подшипники могут работать в условиях вакуума и при температурах до 500°C.

Применяют металлопластмассовые антифрикционные материалы: спеченные бронзографиты, титан, нержавеющие стали пропитывают фторопластом. Получаются коррозионностойкие и износостойкие изделия. Срок службы металлопластмассовых материалов вдвое больше, чем материалов других типов.

*Фрикционные материалы (пористость 10...13 %)* предназначены для работы в муфтах сцепления и тормозах. Условия работы могут быть очень тяжелыми: трущиеся поверхности мгновенно нагреваются до 1200°C, а материал в объеме – до 500...600°C. Применяют спеченные многокомпонентные материалы, которые могут работать при скоростях трения до 50 м/с на нагрузках 350...400 МПа. Коэффициент трения при работе в масле – 0,08...0,15, при сухом трении – до 0,7.

По назначению компоненты фрикционных материалов разделяют на группы:

а) основа – медь и ее сплавы – для рабочих температур 500...600°C, железо, никель и сплавы на их основе – для работы при сухом трении и температурах 1000...1200°C;

б) твердые смазки – предотвращают микросхватывание при торможении и предохраняют фрикционный материал от износа; используют свинец, олово, висмут, графит, сульфиты бария и железа, нитрид бора;

в) материалы, обеспечивающие высокий коэффициент трения – асбест, кварцевый песок, карбиды бора, кремния, хрома, титана, оксиды алюминия и хрома и др.

Примерный состав сплава: медь – 60...70 %, олово – 7 %, свинец – 5 %, цинк – 5...10%, железо – 5...10 %, кремнезем или карбид кремния – 2...3 %, графит – 1...2 %.

Из фрикционных материалов изготавливают тормозные накладки и диски. Так как прочность этих материалов мала, то их прикрепляют к стальной основе в процессе изготовления (припекают к основе) или после (приклепывают, приклеивают и т.д.).

*Фильтры (пористость 25...50 %)* из спеченных металлических порошков по своим эксплуатационным характеристикам превосходят другие фильтрующие материалы, особенно когда требуется тонкая фильтрация.

Они могут работать при температурах от  $-273^{\circ}\text{C}$  до  $900^{\circ}\text{C}$ , быть коррозионностойкими и жаропрочными (можно очищать горячие газы). Спекание позволяет получать фильтрующие материалы с относительно прямыми тонкими порами одинакового размера.

Изготавливают фильтры из порошков коррозионностойких материалов: бронзы, нержавеющей стали, никеля, серебра, латуни и др. Для удовлетворения запросов металлургической промышленности разработаны материалы на основе никелевых сплавов, титана, вольфрама, молибдена и тугоплавких соединений. Такие фильтры работают тысячи часов и поддаются регенерации в процессе работы. Их можно продуть, протравить, прожечь.

Фильтрующие материалы выпускают в виде чашечек, цилиндров, втулок, дисков, плит. Размеры колеблются от дисков диаметром 1,5 мм до плит размерами 450 x 1000 мм. Наиболее эффективно применение фильтров из нескольких слоев с различной пористостью и диаметром пор.

### ***Прочие пористые изделия.***

“*Потеплющие сплавы*“ – материалы, через стенки которых к рабочей наружной поверхности детали поступает жидкость или газ. Благодаря испарению жидкости температура поверхности понижается (лопатки газовых турбин).

Сплавы выпускаются на основе порошка нихрома с порами диаметром до 10...12 мкм при пористости 30 %. Сплавы этого типа используются и для решения обратной задачи: крылья самолетов покрывают пористым медно-никелевым слоем и подают через него на поверхность антифриз, препятствующий обледенению.

*Пеноматериалы* – материалы с очень высокой пористостью, 95...98 %. Например, плотность вольфрама  $19,3 \text{ г/см}^3$ , а пеновольфрама – всего  $3 \text{ г/см}^3$ . Такие материалы используют в качестве легких заполнителей и теплоизоляции в авиационной технике.

### ***Конструкционные порошковые материалы***

*Спеченные стали.* Типовыми порошковыми деталями являются кулачки, корпуса подшипников, ролики, звездочки распределительных валов, детали пишущих и вычислительных машин и другие. В основном это слабонагруженные детали, их изготавливают из порошка железа и графита. Средненагруженные детали изготавливают или двукратным прессованием – спеканием, или пропиткой спеченной детали медью или латунью. Детали сложной конфигурации (например, две шестерни на трубчатой оси) получают из отдельных заготовок, которые насаживают одну на другую с натягом и производят спекание. Для изготовления этой группы деталей используют смеси железо – медь – графит, железо – чугун, железо – графит – легирующие элементы.

Особое место занимают шестерни и поршневые кольца. Шестерни в зависимости от условий работы изготавливают из железо – графита или из железо – графита с медью или легирующими элементами. Снижение стоимости шестерни при переходе с нарезки зубьев на спекание порошка составляет 30...80 %. Пропитка маслом позволяет обеспечить самосмазываемость шестерни, уменьшить износ и снизить шум при работе.

Спеченные поршневые кольца изготавливают из смеси железного порошка с графитом, медью и сульфидом цинка (твердая смазка). Для повышения износостойкости делают двухслойные кольца: во внешний слой вводят хром и увеличивают содержание графита. Применение таких колец увеличивает пробег автомобильного двигателя, уменьшает его износ и сокращает расход масла.

Высоколегированные порошковые стали, содержащие 20 % хрома и 15 % никеля, используют для изготовления изделий, работающих в агрессивных средах.

### ***Спеченные цветные металлы.***

Спеченный титан и его сплавы используют в виде полуфабрикатов (лист, трубы, прутки). Титановый каркас пропитывают магнием. Такие материалы хорошо обрабатываются давлением.

Широко используются материалы на основе меди, например, изготавливают бронзо – графитные шестерни. Свойства спеченных латуней выше, чем литых, из-за большей однородности химического состава и отсутствия посторонних включений.

Спеченные алюминиевые сплавы используют для изготовления поршней тяжело нагруженных двигателей внутреннего сгорания и других изделий, длительное время работающих при повышенных температурах, благодаря их повышенной жаропрочности и коррозионной стойкости.

*Керамикометаллические материалы (керметы)* содержат более 50 % керамической фазы. В качестве керамической фазы используют тугоплавкие бориды, карбиды, оксиды и нитриды, в качестве металлической фазы – кобальт, никель, тугоплавкие металлы, стали.

Керметы отличаются высокими жаростойкостью, износостойкостью, твердостью, прочностью. Они используются для изготовления деталей конструкций, работающих в агрессивных средах при высоких температурах (например, лопаток турбин, чехлов термопар). Частным случаем керметов являются твердые сплавы.

### ***Электротехнические порошковые материалы***

*Электроконтактные* порошковые материалы делятся на материалы для разрывных контактов и материалы для скользящих контактов.

*Материалы разрывных контактов* должны быть тепло- и электропроводными, эрозионностойкими при воздействии электрической дуги, не свариваться в процессе работы. Контактное сопротивление должно быть возможно меньшим, а критическая сила тока и напряжение при образовании дуги – возможно большими. Чистых металлов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Изготавливают контактные материалы прессованием с последующим спеканием или пропиткой пористого тугоплавкого каркаса более легкоплавким металлом (например, вольфрам пропитывают медью или серебром).

Тяжелонагруженные разрывные контакты для высоковольтных аппаратов делают из смесей вольфрам – серебро – никель или железо – медь. В низковольтной и слаботочной аппаратуре широко используют материалы на основе серебра с никелем, оксидом кадмия и другими добавками, а также медно – графитовые материалы.

*Скользящие контакты* широко используют в приборах, коллекторных электрических машинах и электрическом транспорте (токосъемники). Представляют собой пары трения, должны обладать высокими антифрикционными свойствами, причем контакт должен быть мягче, чем контртело и не изнашивать его, так как заменить скользящий контакт проще, чем коллектор или привод. Для обеспечения антифрикционности, в состав смесей для скользящих контактов вводят твердые смазки – графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора. Большинство контактов электрических машин изготавливают из меди с графитом. Для коллекторных пластин пантографов используют бронзографитовые контакты. Контакты приборов изготавливают из серебра с графитом, серебра с палладием, никелем, дисульфидом молибдена, вольфрама с палладием.

### ***Магнитные порошковые материалы.***

Различают магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

*Магнитомягкие* – это материалы с большой магнитной проницаемостью и малой коэрцитивной силой, быстро намагничиваются и быстро теряют магнитные свойства при снятии магнитного поля. Основной магнитомягкий материал – чистое железо и его сплавы с никелем и кобальтом. Для повышения электросопротивления легируют кремнием,

алюминием. Для улучшения прессуемости сплавов вводят до 1 % пластмассы, которая полностью испаряется при спекании. Пористость материалов должна быть минимальной.

Отдельно выделяется группа *магнитодиэлектриков* – это частицы магнитомягкого материала, разделенные тонким слоем диэлектрика – жидкого стекла или синтетической смолы. Таким материалам присущи высокое электросопротивление и минимальные потери на вихревые токи и на перемагничивание. Изготавливаются в результате смешивания, прессования и спекания, особенностью является то, что при нагреве частицы магнитного материала остаются изолированными и не меняют формы. За основу используют чистое железо, альсиферы.

*Магнитотвердые материалы (постоянные магниты)* – материалы с малой магнитной проницаемостью и большой коэрцитивной силой.

Магниты массой до 100 г изготавливают из порошковых смесей такого же состава, как литые магниты: железо – алюминий – никель (альни), железо – алюминий – никель – кобальт (альнико). После спекания этих сплавов обязательна термическая обработка с наложением магнитного поля.

Высокие магнитные свойства имеют магниты из сплавов редкоземельных металлов (церий, самарий, празеодим) с кобальтом.

## Лекция 4 ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

1. [Сущность обработки металлов давлением](#)
2. [Виды обработки металлов давлением](#)
3. [Влияние обработки давлением на структуру и свойства](#)

Обработка металлов давлением основана на их способности в определенных условиях пластически деформироваться в результате воздействия на деформируемое тело (заготовку) внешних сил.

Если при упругих деформациях деформируемое тело полностью восстанавливает исходные форму и размеры после снятия внешних сил, то при пластических деформациях изменение формы и размеров, вызванное действием внешних сил, сохраняется и после прекращения действия этих сил. Упругая деформация характеризуется смещением атомов относительно друг друга на величину, меньшую межатомных расстояний, и после снятия внешних сил атомы возвращаются в исходное положение. При пластических деформациях атомы смещаются относительно друг друга на величины, большие межатомных расстояний, и после снятия внешних сил не возвращаются в свое исходное положение, а занимают новые положения равновесия.

Для начала перехода атомов в новые положения равновесия необходима определенная величина действующих напряжений, зависящая от межатомных сил и характера взаимного расположения атомов (типа кристаллической решетки, наличия и расположения примесей, формы и размеров зерен поликристалла и т. п.).

Так как сопротивление смещению атомов в новые положения изменяется не пропорционально смещению, то при пластических деформациях линейная связь между напряжениями и деформациями обычно отсутствует.

Напряжения, вызывающие смещение атомов в новые положения равновесия, могут уравниваться только силами межатомных взаимодействий. Поэтому под нагрузкой при пластическом деформировании деформация состоит из упругой и пластической составляющих, причем упругая составляющая исчезает при разгрузке (при снятии деформирующих сил), а пластическая составляющая приводит к остаточному изменению формы и размеров тела. В новые положения равновесия атомы могут переходить в результате смещения в определенных параллельных плоскостях, без существенного

изменения расстояний между этими плоскостями. При этом атомы не выходят из зоны силового взаимодействия и деформация происходит без нарушения сплошности металла, плотность которого практически не изменяется. Скольжение одной части кристаллической решетки относительно другой происходит по плоскостям наиболее плотного размещения атомов (плоскостям скольжения). В реальных металлах кристаллическая решетка имеет линейные дефекты (дислокации), перемещение которых облегчает скольжение.

Величина пластической деформации не безгранична, при определенных ее значениях может начаться разрушение металла.

На величину пластической деформации, которую можно достичь без разрушения (предельная деформация), оказывают влияние многие факторы, основные из которых — механические свойства металла (сплава), температурно-скоростные условия деформирования и схема напряженного состояния. Последний фактор оказывает большое влияние на значение предельной деформации. Наибольшая предельная деформация достигается при отсутствии растягивающих напряжений и увеличении сжимающих. В этих условиях (схема неравномерного всестороннего сжатия) даже хрупкие материалы типа мрамора могут получать пластические деформации. Схемы напряженного состояния в различных процессах и операциях обработки давлением различны, вследствие чего для каждой операции металла и температурно-скоростных условий существуют свои определенные предельные деформации.

Существенные преимущества обработки металлов давлением по сравнению с обработкой резанием — возможность значительного уменьшения отхода металла, а также повышения производительности труда, поскольку в результате однократного приложения усилия можно значительно изменить форму и размеры деформируемой заготовки. Кроме того, пластическая деформация сопровождается изменением физико-механических свойств металла заготовки, что можно использовать для получения деталей с наилучшими эксплуатационными свойствами (прочностью, жесткостью, высокой износостойкостью и т. д.) при наименьшей их массе. Эти и другие преимущества обработки металлов давлением (отмеченные ниже) способствуют неуклонному росту ее удельного веса в металлообработке. Совершенствование технологических процессов обработки металлов давлением, а также применяемого оборудования позволяет расширять номенклатуру деталей, изготавливаемых обработкой давлением, увеличивать диапазон деталей по массе и размерам, а также повышать точность размеров полуфабрикатов, получаемых обработкой металлов давлением.

### **ВИДЫ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ**

Процессы обработки металлов давлением по назначению подразделяют на два вида:

для получения заготовок постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления из них деталей только обработкой резанием или с использованием предварительного пластического формоизменения, основными разновидностями таких процессов являются прокатка, прессование и волочение;

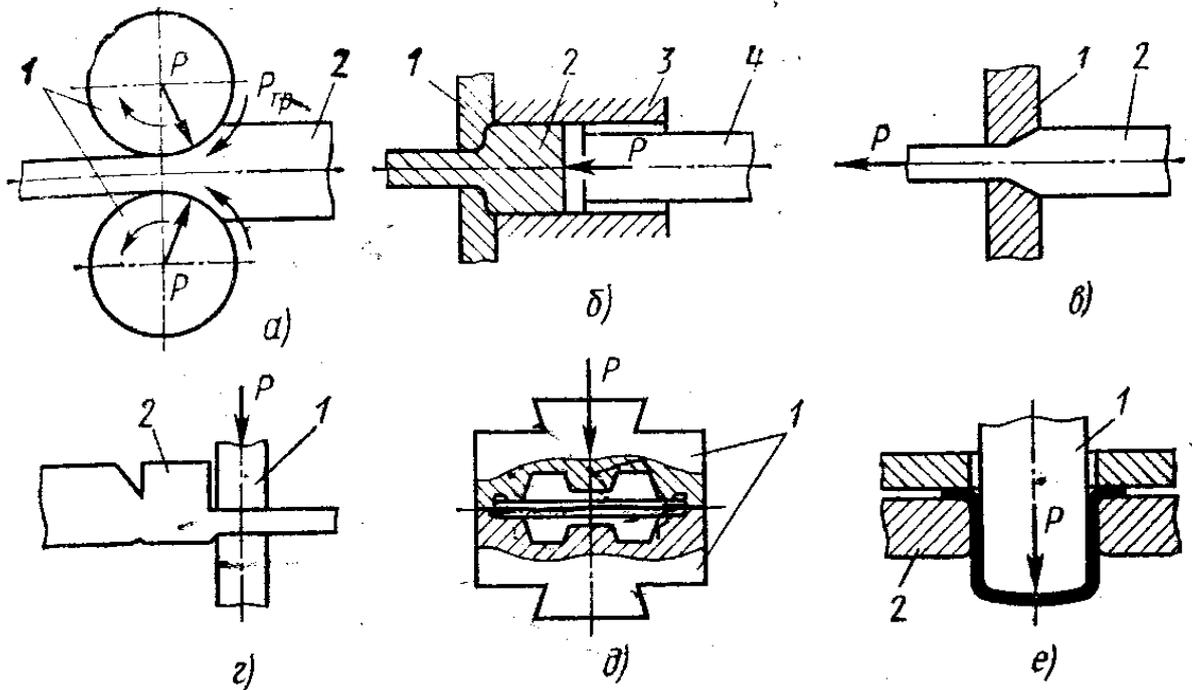


Рис. 6. Схемы основных видов обработки металлов давлением для получения деталей или заготовок (полуфабрикатов), имеющих приблизительно формы и размеры готовых деталей и требующих обработки резанием лишь для придания им окончательных размеров и получения поверхности заданного качества; основными разновидностями таких процессов являютсяковка и штамповка.

**Прокатка** (рис. 6, а) заключается в обжатии заготовки 2 между вращающимися валками 1. Силами трения  $P_{тр}$  заготовка втягивается между валками, а силы  $P$ , нормальные к поверхности валков, уменьшают поперечные размеры заготовки.

**Прессование** (рис. 6, б) заключается в продавливании заготовки 2, находящейся в замкнутой форме 3, через отверстие матрицы 1, причем форма и размеры поперечного сечения выдавленной части заготовки соответствуют форме и размерам отверстия матрицы, а длина ее пропорциональна отношению площадей поперечного сечения исходной заготовки и выдавленной части и перемещению давящего инструмента 4.

**Волочение** (рис. 6, в) заключается в протягивании заготовки 2 через сужающуюся полость матрицы 1; площадь поперечного сечения заготовки уменьшается и получает форму поперечного сечения отверстия матрицы.

**Ковкой** (рис. 6, г) изменяют форму и размеры заготовки 2 путем последовательного воздействия универсальным инструментом 1 на отдельные участки заготовки.

**Штамповкой** изменяют форму и размеры заготовки с помощью специализированного инструмента — штампа (для каждой детали изготавливают свой штамп). Различают объемную и листовую штамповку. При объемной штамповке сортового металла (рис. 6, д) на заготовку, являющуюся обычно отрезком прутка, воздействуют специализированным инструментом — штампом 1, причем металл заполняет полость штампа, приобретая ее форму и размеры.

**Листовой штамповкой** (рис. 6, е) получают плоские и пространственные полые детали из заготовок, у которых толщина значительно меньше размеров в плане (лист, лента, полоса). Обычно заготовка деформируется с помощью пуансона 1 и матрицы 2.

## ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МЕТАЛЛА

В зависимости от температурно-скоростных условий деформирования различают холодную и горячую деформацию.

**Холодная деформация** характеризуется изменением формы зерен, которые вытягиваются в направлении наиболее интенсивного течения металла (рис. 7, а).

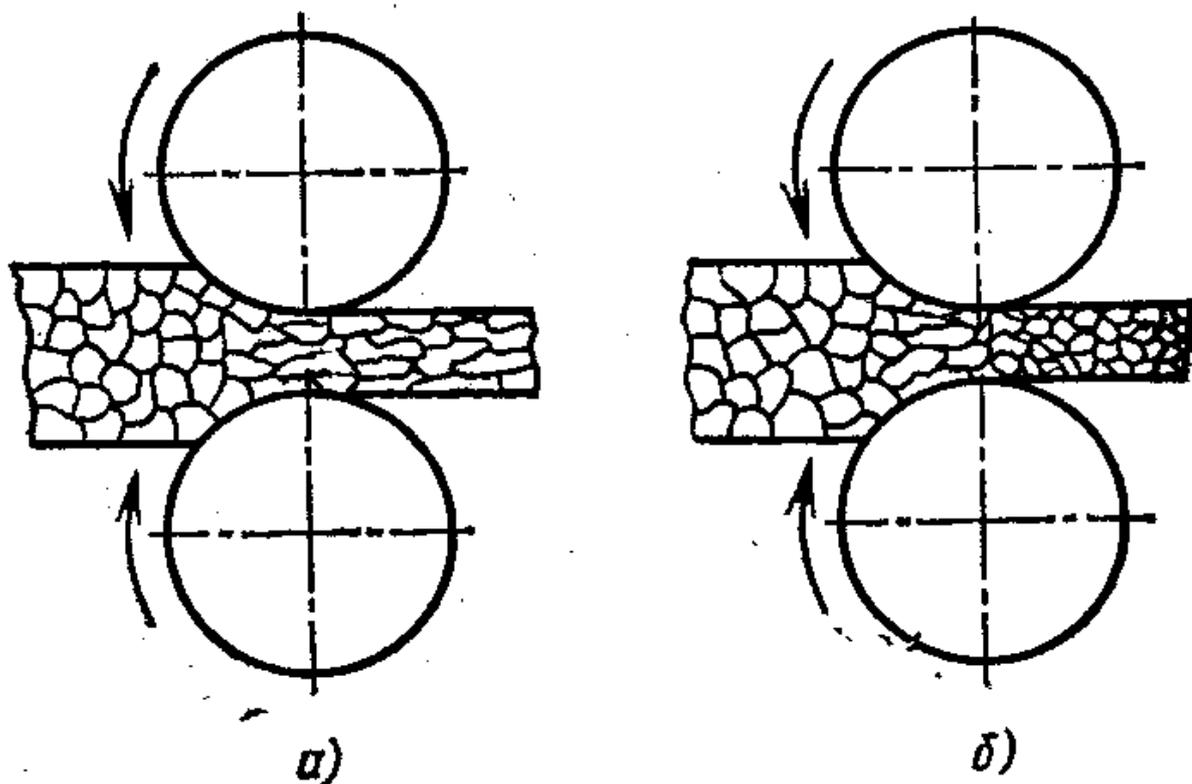


Рис. 7. Схемы изменения микроструктуры металла при деформации: а - холодной; б - горячей

При холодной деформации формоизменение сопровождается изменением механических и физико-химических свойств металла. Это явление называют упрочнение (наклепом). Изменение механических свойств состоит в том, что холодной пластической деформации по мере ее увеличения возрастают характеристики прочности, в то время как характеристики пластичности снижаются. Металл становится более твердым, менее пластичным. Упрочнение возникает вследствие поворота плоскостей скольжения, увеличения искажений кристаллической решетки в процессе холодного деформирования (накопления дислокаций у границ зерен).

Изменения, внесенные холодной деформацией в структуру и свойства металла, не необратимы. Они могут быть устранены, например, с помощью термической обработки (отжигом). В этом случае происходит внутренняя перестройка, при которой за счет дополнительной тепловой энергии, увеличивающей подвижность атомов в твердом металле без фазовых превращений из множества центров растут новые зерна, заменяющие собой вытянутые, деформированные зерна. Так как в равномерном температурном поле скорость роста зерен по всем направлениям одинакова, то новые зерна, появившиеся взамен деформированных, имеют примерно одинаковые размеры по всем направлениям.

Явление зарождения и роста новых равноосных зерен взамен деформированных, вытянутых, происходящее при определенных температурах, называется

рекристаллизацией. Для чистых металлов рекристаллизация начинается при абсолютной температуре, равной 0,4 абсолютной температуры плавления металла. Рекристаллизация протекает с определенной скоростью, причем время, требуемое для рекристаллизации, тем меньше, чем выше температура нагрева деформированной заготовки.

При температурах ниже температуры начала рекристаллизации, наблюдается явление, называемое возвратом. При возврате (отдыхе) форма и размеры деформированных, вытянутых зерен не изменяются, но частично снимаются остаточные напряжения. Эти напряжения возникают из-за неоднородного нагрева или охлаждения (при литье и обработке давлением), неоднородности распределения деформаций при пластическом деформировании и т. д. Остаточные напряжения создают системы взаимно уравновешивающихся сил и находятся в заготовке, не нагруженной внешними силами. Снятие остаточных напряжений при возврате почти не изменяет механических свойств металла, но влияет на некоторые его физико-химические свойства. Так, например, в результате возврата значительно повышается электрическая проводимость, сопротивление коррозии холоднодеформированного металла.

Формоизменение заготовки при температуре выше температуры рекристаллизации сопровождается одновременным протеканием упрочнения и рекристаллизации.

**Горячей деформацией** называют деформацию, характеризующуюся таким соотношением скоростей деформирования и рекристаллизации, при котором рекристаллизация успевает произойти во всем объеме заготовки и микроструктура после обработки давлением оказывается равноосной, без следов упрочнения (рис. 7, б).

Чтобы обеспечить условия протекания горячей деформации, приходится с увеличением ее скорости повышать температуру нагрева заготовки (для увеличения скорости рекристаллизации).

Если металл по окончании деформации имеет структуру, не полностью рекристаллизованную, со следами упрочнения, то такая деформация называется неполной горячей деформацией. Неполная горячая деформация приводит к получению неоднородной структуры, снижению механических свойств и пластичности, поэтому обычно нежелательна.

При горячей деформации сопротивление деформированию примерно в 10 раз меньше, чем при холодной деформации, а отсутствие упрочнения приводит к тому, что сопротивление деформированию (предел текучести) незначительно изменяется в процессе обработки давлением. Этим обстоятельством объясняется в основном то, что горячую обработку применяют для изготовления крупных деталей, так как при этом требуются меньшие усилия деформирования (менее мощное оборудование).

Следует учитывать, что при обработке давлением заготовок малых размеров (малой толщины) трудно выдержать необходимые температурные условия ввиду быстрого их охлаждения на воздухе и от контакта с более холодным инструментом.

При горячей деформации пластичность металла выше, чем при холодной деформации. Поэтому горячую деформацию целесообразно применять при обработке труднодеформируемых, малопластичных металлов и сплавов, а также заготовок из литого металла (слитков). В то же время при горячей деформации окисление заготовки более интенсивно (на поверхности образуется слой окалины), что ухудшает качество поверхности и точность получаемых размеров.

Холодная деформация без нагрева заготовки позволяет получать большую точность размеров и лучшее качество поверхности по сравнению с обработкой давлением при достаточно высоких температурах. Отметим, что обработка давлением без специального нагрева заготовки позволяет сократить продолжительность технологического цикла, облегчает использование средств механизации и автоматизации и повышает производительность труда. Влияние холодной деформации на свойства металла можно использовать для получения наилучших эксплуатационных свойств деталей, а управление изменением свойств в требуемом направлении и на желаемую

величину может быть достигнуто выбором рационального сочетания холодной и горячей деформации, а также числа, и режимов термических обработок в процессе изготовления детали. Исходной заготовкой для начальных процессов обработки металлов давлением (прокатки, прессования) является слиток. Кристаллическое строение слитка неоднородно (кристаллиты различных размеров и форм). Кроме того, в нем имеется пористость, газовые пузыри и т. п. Обработка давлением слитка при нагреве его до достаточно высоких температур приводит к деформации кристаллитов и частичной заварке пор и раковин. Таким образом, при обработке давлением слитка может увеличиться и плотность металла.

В результате деформации кристаллитов и последующей рекристаллизации металл получает мелкозернистое строение, т. е. размеры зерен после рекристаллизации исчисляются в сотых или десятых долях миллиметра, причем эти размеры примерно одинаковы по всем направлениям (равноосная структура).

Если слиток загрязнен неметаллическими включениями, обычно располагающимися по границам кристаллитов, то в результате обработки давлением неметаллические включения вытягиваются в виде волокон по направлению наиболее интенсивного течения металла. Эти волокна выявляются травлением и видны невооруженным глазом в форме так называемой волокнистой макроструктуры (рис. 8, а). Полученная в результате обработки давлением литого металла волокнистая макроструктура не может быть разрушена ни термической обработкой, ни последующей обработкой давлением. Последняя в зависимости от характера деформирования может изменить лишь направление и форму волокон макроструктуры.

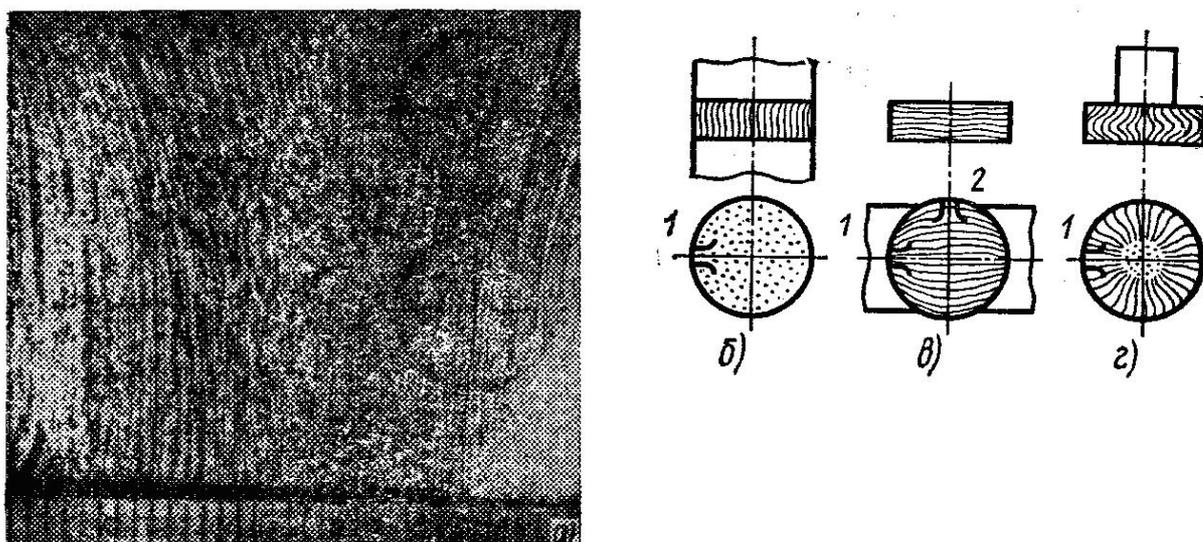


Рис. 8. Макроструктура металла после обработки давлением

Металл с явно выраженной волокнистой макроструктурой характеризуется анизотропией (векториальностью) механических свойств. При этом характеристики прочности (предел текучести, временное сопротивление и др.) в разных направлениях отличаются незначительно, а характеристики пластичности (относительное удлинение, ударная вязкость и др.) вдоль волокон выше, чем поперек их.

Так как направление волокон зависит от характера деформирования заготовки, то в готовой детали желательно получить такое расположение волокон, при котором она имела бы наилучшие свойства. При этом общие рекомендации следующие; необходимо, чтобы наибольшие растягивающие напряжения, возникающие в деталях в процессе работы, были направлены вдоль волокон, а если какой-либо элемент этой детали работает на срез, то желательно, чтобы перерезывающие силы действовали поперек волокон; необходимо

чтобы волокна подходили к наружным поверхностям детали по касательной и не перерезались наружными поверхностями детали.

Выполнение этих требований не только повышает надежность детали (в том числе и при динамическом нагружении), но и улучшает другие эксплуатационные характеристики, например сопротивление истиранию.

Возможность воздействия обработкой давлением на расположение волокон, а следовательно, и на свойства деталей можно иллюстрировать следующим примером. В зубчатом колесе, изготовленном резанием из прутка (рис. 8, б), растягивающие напряжения, возникающие при изгибе зуба 1 действием сопряженного колеса, направлены поперек волокон, что понижает их надежность. При горячей штамповке зубчатого колеса из полосы (рис. 8, в) волокна по-разному ориентированы в различных зубьях относительно наибольших растягивающих напряжений: в зубе 1 — вдоль волокон, а в зубе 2 — поперек. Следовательно, зубья оказываются неравнопрочными.

При изготовлении зубчатого колеса осадкой (рис. 8, г) из отрезка прутка круглого сечения волокна получают почти радиальное направление. В этом случае все зубья равнопрочны, а наибольшие растягивающие напряжения, возникающие при изгибе, направлены почти вдоль волокон.

## ЛЕКЦИЯ № 5 ПРОКАТНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1. [Сущность процесса прокатного производства](#)
2. [Продукция прокатного производства](#)
3. [Ковка. Сущность процесса](#)
4. [Горячая объемная штамповка. Сущность процесса](#)
5. [Способы горячей объемной штамповки](#)
6. [Методы производства машиностроительных профилей прессованием](#)
7. [Волочение](#)

### Сущность процесса прокатного производства

Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. При прокатке металл пластически деформируется вращающимися валками. Взаимное расположение валков и заготовки, форма и число валков могут быть различными. Выделяют три основных вида прокатки: продольную, поперечную и поперечно-винтовую.

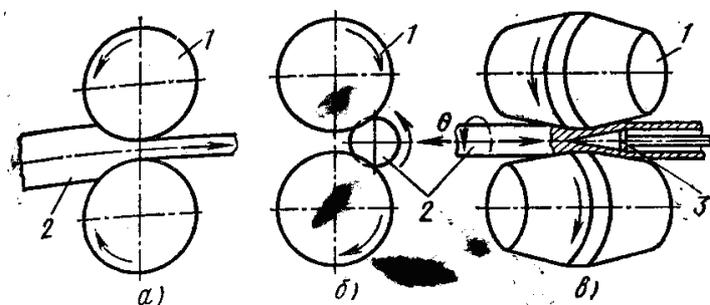


Рис. 9. Основные виды прокатки: 1-валки; 2-заготовка; 3-оправка

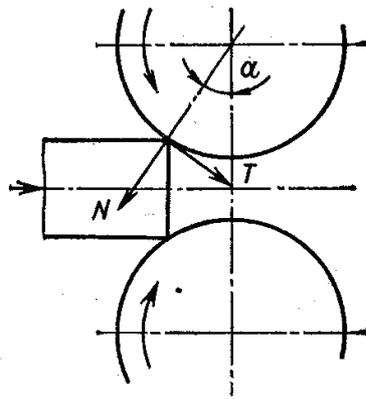


Рис. 10. Схема действия сил в момент захвата металла валками

При продольной прокатке (рис. 9, а) заготовка 2 деформируется между двумя валками 1, вращающимися в разные стороны, и перемещается перпендикулярно к осям валков.

При поперечной прокатке (рис. 9, б) валки 1, вращаясь в одном направлении, придают вращение заготовке 2 и деформируют ее.

При поперечно-винтовой прокатке (рис. 9, в) валки 1 расположены под углом и сообщают заготовке 2 при деформировании вращательное и поступательное движения.

В процессе прокатки металл непрерывно втягивается в зазор между валками под действием сил трения между металлом и валками. Для осуществления процесса прокатки необходима определенная величина этих сил трения. Так, при наиболее распространенной продольной прокатке на заготовку со стороны валков действуют нормальные силы  $N$  и сила трения  $T$  (рис. 10). Спроектировав эти силы на горизонтальную ось, можно записать условие захвата металла валками (по отношению к одному валку, так как система симметрична);

$$N \cdot \sin \alpha < T \cdot \cos \alpha.$$

Угол  $\alpha$  называется углом захвата. Выразив силу трения как  $T = fN$ , где  $f$  — коэффициент трения, и подставив это выражение в условие захвата, получим

$$\sin \alpha < f \cdot \cos \alpha \text{ или } f > \operatorname{tg} \alpha.$$

Таким образом, для осуществления захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата.

При горячей прокатке стали гладкими валками угол захвата равен  $15 - 24^\circ$ , при холодной —  $3 - 8^\circ$ . При установившемся процессе прокатки коэффициент трения может быть примерно вдвое меньше.

В процессе прокатки уменьшается толщина заготовки при одновременном увеличении ее длины и ширины. Деформацию заготовки обычно определяют относительным обжатием, %:

$$\varepsilon_n = (H_0 - H_1) \cdot 100 / H_0,$$

где  $H_0$  и  $H_1$  — высота заготовки соответственно до и после проката. Площадь поперечного сечения заготовки всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно, когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый вытяжкой,

$$\mu = l/l_0 = F_0/F,$$

где  $l_0$  и  $F_0$  — первоначальная длина и площадь поперечного сечения;  $l$  и  $F$  — те же величины после прокатки.

Вытяжка при прокатке обычно составляет  $1,1 - 1,6$  за проход, но может быть и больше.

### ПРОДУКЦИЯ ПРОКАТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Форму поперечного сечения прокатанной полосы называй профилем. Совокупность форм и размеров профилей, получаем прокаткой, называют сортаментом.

В СССР почти весь сортамент проката изготавливается в соответствии с ГОСТом (Государственным общесоюзным стандартом). В ГОСТах на сортамент проката приведены площадь поперечного сечения, размеры, масса 1 м длины филя и допустимые отклонения от номинальных размеров. Сортамент прокатываемых профилей разделяется на четыре основные группы: сортовой прокат, листовой, трубы и специальные виды ката.

Сортовой прокат (рис.11, а) делят на профили простой геометрической формы (квадрат, круг, шестигранник, прямоугольник) и фасонные (швеллер, рельс, угловой и тавровый профили и т.д.)

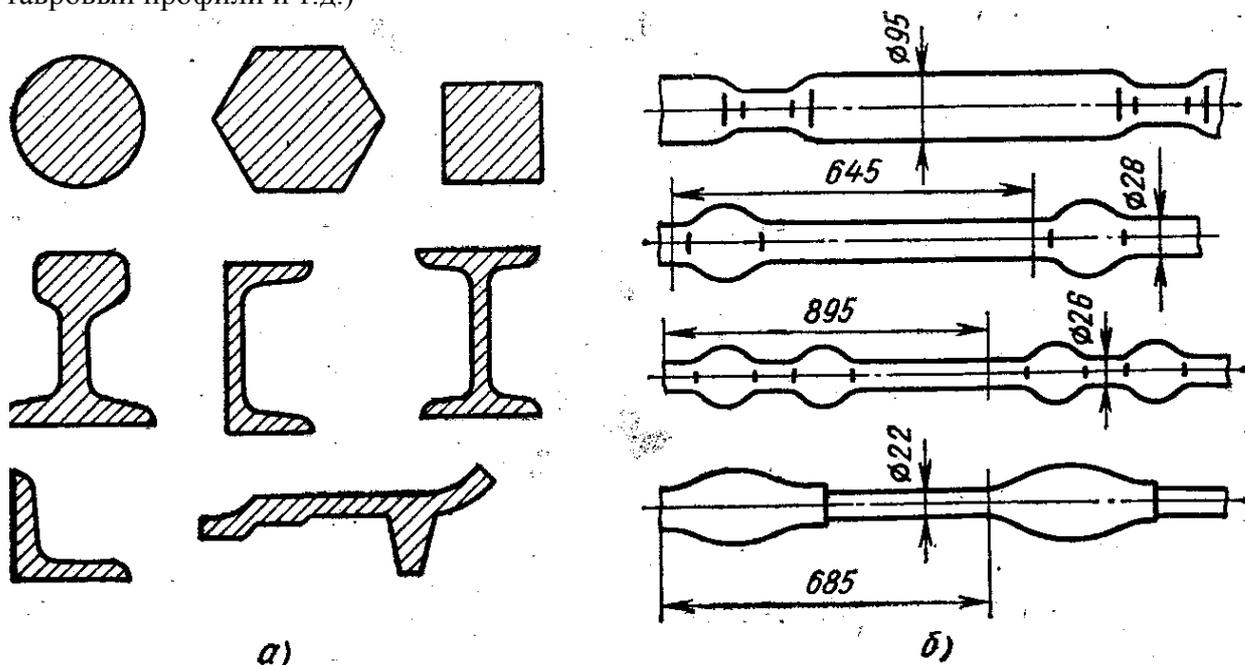


Рис. 11. Примеры профилей проката

Круглую и квадратную сталь прокатывают соответственно с диаметром или стороной квадрата 5 - 250 мм; шестигранную — с диаметром вписанного круга 6—100 мм; полосовую — шириной 10 — 200 мм и толщиной 4—60 мм.

Цветные металлы и их сплавы прокатывают преимущественно на простые профили — круглый, квадратный, прямоугольный.

Листовой прокат из стали и цветных металлов используют в различных отраслях промышленности. В связи с этим листовую сталь, например, делят на автотракторную, трансформаторную, кровельную жель и т. д. Расширяется производство листовой стали с оловянным, цинковым, алюминиевым и пластмассовым покрытиями. Кроме того, листовую сталь разделяют на толстолистовую (толщиной 4—160 мм) и тонколистовую (толщиной менее 4 мм). Листы толщиной менее 0,2 мм называют фольгой.

Трубы разделяют на бесшовные и сварные. Бесшовные трубы прокатывают диаметром 30—650 мм с толщиной стенки 2—160 мм из углеродистых и легированных сталей, а сварные — диаметром 5—2500 мм с толщиной стенки 0,5—16 мм из углеродистых и низколегированных сталей.

К специальным видам проката относят колеса, кольца, шары, периодические профили с периодически изменяющейся формой и площадью поперечного сечения вдоль оси заготовки (рис. 11, б).

## КОВКА СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Ковка — вид горячей обработки металлов давлением, при котором металл деформируется с помощью универсального инструмента. Нагретую заготовку укладывают на нижний боек и верхним бойком последовательно деформируют отдельные ее участки.

Металл свободно течет в стороны, не ограниченные рабочими поверхностями инструмента, в качестве которого применяют плоские или фигурные (вырезные) бойки, а также различных подкладной инструмент.

Ковкой получают заготовки для последующей механической работы. Эти заготовки называют коваными поковками, или просто поковками.

Ковка является единственно возможным способом изготовления тяжелых поковок (до 250 т) типа валов гидрогенераторов, турбинных дисков, коленчатых валов судовых двигателей, валков прокатных станков и т. д. Поковки меньшей массы (десятки и сотни килограммов) можно изготавливать и ковкой, и штамповкой. Хотя штамповка имеет ряд преимуществ перед ковкой, в единичном и мелкосерийном производствах ковка обычно экономически более целесообразна. Объясняется это тем, что при ковке используют универсальный (годный для изготовления различных поковок) инструмент, а изготовление специального инструмента (штампа) при небольшой партии одинаковых поковок экономически невыгодно. Исходными заготовками дляковки тяжелых крупных поковок служат слиты массой до 320 т. Поковки средней и малой массы изготавливают из блюмов и сортового проката квадратного, круглого или прямоугольного сечений.

### ГОРЯЧАЯ ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Горячая объемная штамповка — это вид обработки металлов давлением, при котором формообразование поковки из нагретой заготовки осуществляют с помощью специального инструмента штампа.

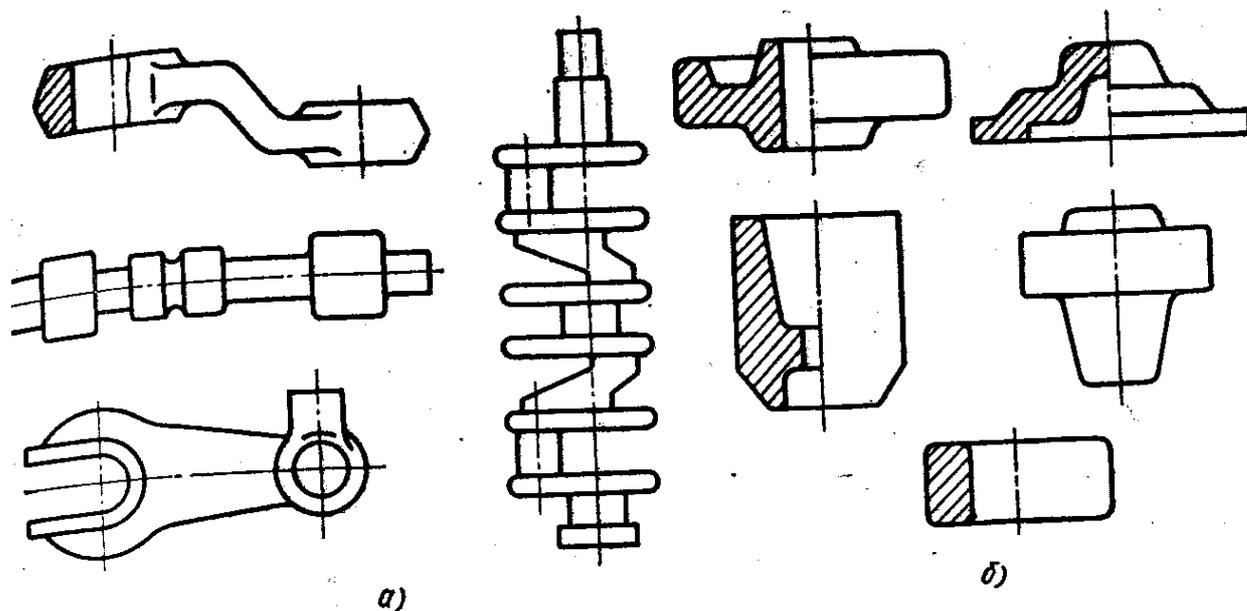


Рис.12. Штампованные поковки

Течение металла ограничивается поверхностями полостей (а также выступов), изготовленных в отдельных частях штампа, так что в конечный момент штамповки они образуют единую замкнутую полость (ручей) по конфигурации поковки.

В качестве заготовок для горячей штамповки в подавляющем большинстве случаев применяют прокат круглого, квадратного, прямоугольного профилей, а также периодический. При этом прутки нарезают на отдельные (мерные) заготовки, хотя иногда штампуют из прутка с последующим отделением поковки непосредственно на штамповочной машине. Мерные заготовки отрезают от прутка различными способами: на кривошипных пресс-ножницах, механическими пилами, газовой резкой и т. д.

По сравнению с ковкой штамповка имеет ряд преимуществ. Горячей объемной штамповкой можно получать поковки сложной конфигурации без напусков, что при ковке невозможно. Допуски на штампованную поковку в 3 – 4 раза меньше, чем на кованую. Вследствие этого значительно сокращается объем последующей обработки резанием.

Штампованные поковки обрабатывают только в местах сопряжения с другими деталями, и эта обработка может сводиться только к шлифованию.

Производительность штамповки значительно выше — десятки и сотни поковок в час.

В то же время штамп — дорогостоящий инструмент и пригоден только для изготовления какой-то одной, конкретной поковки. В связи с этим штамповка экономически целесообразна лишь при изготовлении достаточно больших партий одинаковых поковок.

Кроме того, для объемной штамповки поковок требуются гораздо большие усилия деформирования, чем дляковки таких же поковок. Поковки массой в несколько сот килограммов для штамповки считаются крупными. В основном штампуют поковки массой 20—30 кг и только в отдельных случаях — массой до 3 т.

Горячей объемной штамповкой изготавливают заготовки для ответственных деталей автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных самолетов, железнодорожных вагонов, станков и т. д.

Конфигурация поковок чрезвычайно разнообразна, в зависимости от нее поковки обычно подразделяют на группы. Например, штампованные поковки, показанные на рис. 12, можно разделить на две группы: удлиненной формы, характеризующиеся большим отношением длины к ширине (рис. 12, а), и короткие круглого или квадратного сечения (рис. 12, б).

### СПОСОБЫ ГОРЯЧЕЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

Наличие большого разнообразия форм и размеров штампованных поковок, а также сплавов, из которых их штампуют, обуславливает существование различных способов штамповки.

Так как характер течения металла в процессе штамповки определяется типом штампа, то этот признак можно считать основным для классификации способов штамповки. В зависимости от типа штампа выделяют штамповку в открытых и закрытых штампах.

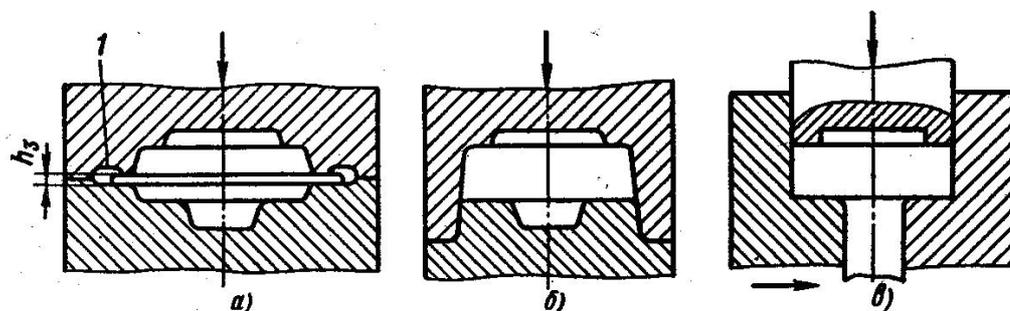


Рис. 13. Схемы штамповки в открытых и закрытых штампах;  
1-заусенечная канавка

**Штамповка в открытых штампах** (рис. 13, а) характеризуется переменным зазором между подвижной и неподвижной частями штампа. В этот зазор вытекает заусенец (облой), который закрывает выход из полости штампа и заставляет металл целиком заполнить всю полость. В конечный момент деформирования в заусенец выжимаются излишки металла, находящиеся в полости, что позволяет не предъявлять особо высоких требований к точности заготовок по массе. Заусенец затем обрезается в специальных штампах. Штамповкой в открытых штампах получают поковки всех типов (см. рис. 12, а, б).

**Штамповка в закрытых штампах** (рис. 13, б, в) характеризуется тем, что полость штампа в процессе деформирования остается закрытой. Зазор между подвижной и

неподвижной частями штампа при этом постоянный и небольшой, так что образование заусенца в нем не предусмотрено. Устройство таких штампов зависит от типа машины, на которой штампуют. Например, нижняя половина штампа может иметь полость, а верхняя — выступ (на прессах), или наоборот (на молотах). Закрытый штамп может иметь не одну, а две взаимно; перпендикулярные плоскости разъема, т. е. состоять из трех частей (рис. 13, в).

При штамповке в закрытых штампах необходимо строго соблюдать равенство объемов заготовки и поковки, иначе при недостатке металла не заполнятся углы полости штампа, а при избытке размер поковки по высоте будет больше требуемого. Следовательно, в этом случае процесс получения заготовки усложняется, поскольку отрезка заготовок должна обеспечивать высокую точность. Как правило, штамповкой в закрытых штампах получают поковки, показанные на рис. 12, б.

Существенное преимущество штамповки в закрытых штампах — уменьшение расхода металла, поскольку нет отхода в заусенец. Поковки, полученные в закрытых штампах, имеют более благоприятную макроструктуру, так как волокна обтекают контур поковки, а не перерезаются в месте выхода металла в заусенец. При штамповке в закрытых штампах металл деформируется в условиях всестороннего неравномерного сжатия при больших сжимающих напряжениях, чем в открытых штампах. Это позволяет получать большие степени деформации и штамповать малопластичные сплавы.

#### МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРЕССОВАНИЕМ

В машиностроении применяют профили самого разнообразного сортамента, которые получают не только прокаткой, но и другими видами обработки металлов давлением: прессованием, волочением, профилированием листового металла.

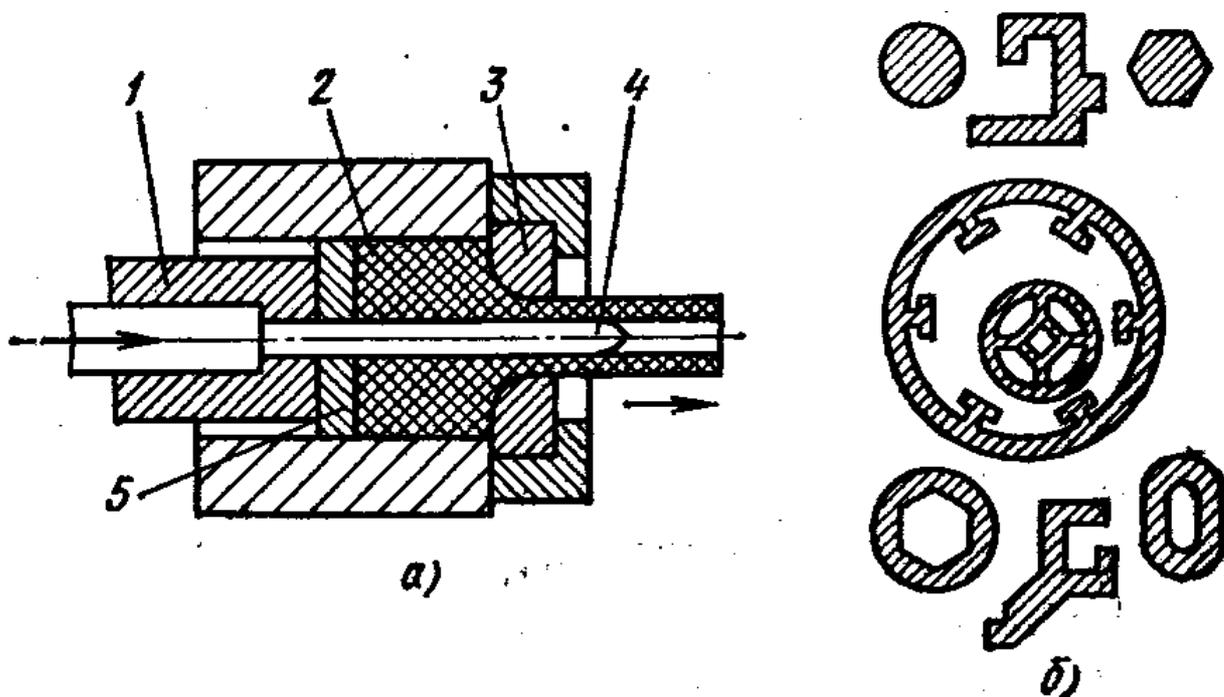


Рис. 14. Схема прессования полого профиля (а) и примеры прессованных профилей (б)

При прессовании металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие, соответствующее сечению прессуемого профиля. Этим процессом изготавливают не только сплошные профили, но и полые (рис. 14, а). В этом случае в заготовке необходимо предварительно получить сквозное отверстие. Часто отверстие прошивают на том же прессе. В процессе прессования при движении пуансона 1 с пресс-шайбой 5 металл

заготовки 2 выдавливается в зазор между матрицей 3 и иглой 4. Прессование по рассмотренным схемам называется прямым. Значительно реже применяют обратное прессование, схема деформирования которого сходна со схемой обратного выдавливания.

Исходной заготовкой при прессовании служит слиток или прокат. Состояние поверхности заготовки оказывает значительное влияние на качество поверхности и точность прессованных профилей. Поэтому во многих случаях заготовку предварительно обтачивают на станке; после нагрева поверхность заготовки тщательно очищают от окалины.

Прессованием изготавливают изделия разнообразного сортамента из цветных металлов и сплавов, в том числе прутки диаметром 3 — 250 мм, трубы диаметром 20—400 мм со стенкой толщиной 1,5 — 12 мм и другие профили (Рис. 3.48, б). Из углеродистых сталей 20, 35, 45, 50, конструкционных 30ХГСА, 40ХН, коррозионно-стойких 12Х18Н10Т и других высоколегированных сталей прессуют трубы с внутренним диаметром 30—160 мм со стенкой толщиной 2—10мм, профили с полкой толщиной 2—2,5 мм и линейными размерами поперечных сечений до 200 мм.

При прессовании, так же как и при холодном выдавливании (схемы деформирования металла в этих процессах аналогичны), металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и поэтому имеет весьма высокую пластичность. Коэффициент, характеризующий степень деформации и определяемый как отношение площади сечения заготовки к площади сечения прессуемого профиля, при прессовании составляет 10—50.

Прессованием можно обрабатывать такие специальные стали, цветные металлы и их сплавы, которые ввиду низкой пластичности (особенно в литом состоянии) другими видами обработки давлением деформировать невозможно или затруднительно.

Прессованием можно получать профили сложных форм, который не могут быть получены другими видами обработки металлов давлением (в частности прокаткой). Точность прессованных профилей выше, чем прокатанных.

К недостаткам прессования следует отнести большие отходы металла: весь металл не может быть выдавлен из контейнера и в нем остается так называемый пресс-остаток, который после окончания прессования отрезается от полученного профиля. Масса пресс-остатка может достигать 40 % массы, исходной заготовки (при прессовании труб большого диаметра).

### **ВОЛОЧЕНИЕ**

При волочении заготовку протягивают через постепенно сужающееся отверстие в инструменте, называемом волокой. Волочение, как правило, осуществляют в холодном состоянии. Исходными заготовками служат прокатанные или прессованные прутки и трубы из стали, цветных металлов и их сплавов.

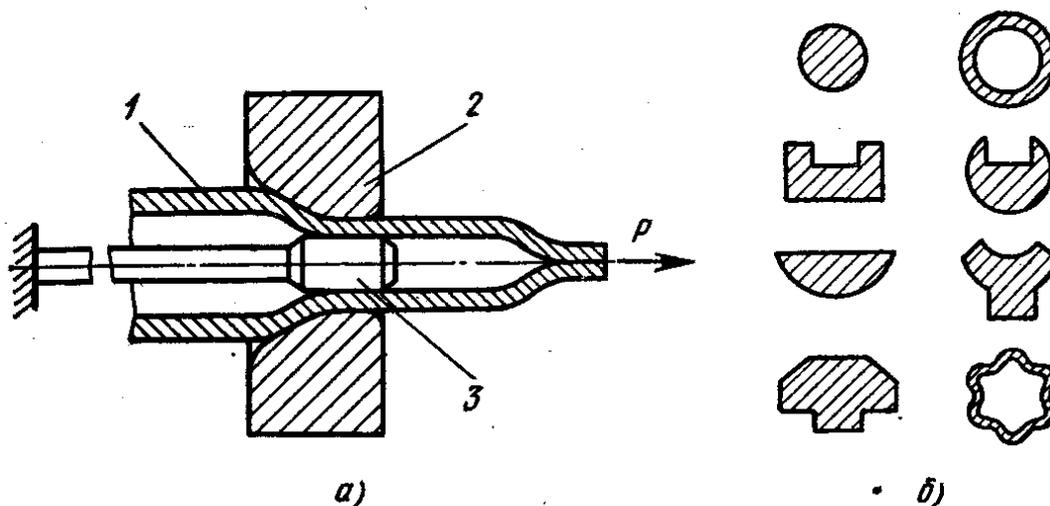


Рис. 15. Схема волочения трубы (а) и примеры профилей, получаемых волочением (б)

Волочение труб можно выполнять без оправки (для уменьшения внешнего диаметра) и с оправкой (для уменьшения внешнего диаметра и толщины стенки). На рис. 15, а показана схема волочения трубы 1 на короткой удерживаемой оправке 3. В этом случае профиль полученной трубы определяется зазором между волокой и оправкой 3.

При волочении сплошного и полого профилей площадь поперечного сечения заготовки уменьшается, а следовательно, длина (из условия постоянства объема при пластической деформации) увеличивается. Количественно деформацию, так же как и при прокатке, можно характеризовать отношением полученной длины к исходной, т. е. вытяжкой  $\mu$ .

Вследствие того, что к заготовке при волочении приложено тянущее усилие, в отверстии волоки (очаге деформации) и после выхода из нее металл испытывает растягивающие напряжения. Но если в очаге деформации, в котором действуют и сжимающие напряжения со стороны инструмента, металл пластически деформируется, то на выходящем из волоки конце прутка пластическая деформация недопустима. В противном случае пруток искажается или разрывается. Поэтому величина деформации за один проход ограничена, и вытяжка  $\mu = 1,25 \div 1,45$ . Поскольку тянущее усилие, приложенное к заготовке, необходимо не только для деформирования металла, но и для преодоления сил трения металла об инструмент, эти силы трения стараются уменьшить применением смазки и полированием отверстия в волоке.

Обычно для получения необходимых профилей требуется деформация, превышающая допустимую за один проход, поэтому применяют волочение через ряд постепенно уменьшающихся по диаметру отверстий. Но поскольку волочение осуществляют в условиях холодной деформации, металл упрочняется. Для восстановления пластичности упрочненный волочением металл подвергают промежуточному отжигу.

Волочением обрабатывают различные сорта стали и цветные металлы: медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы и др. Сортамент изделий, изготовляемых волочением, очень разнообразен: проволока диаметром 0,002—5 мм и фасонные профили, примеры которых показаны на рис. 3.49, б (призматические и фасонные направляющие; сегментные, призматические и фасонные шпонки; шлицевые валики; опорные призмы и ножи и т. д.). Волочением калибруют стальные трубы диаметрами от капиллярных до 200 мм, стальные прутки диаметром 3—150 мм.

Волочение обеспечивает точность размеров (стальная проволока диаметром 1 – 1,6 мм имеет допуск 0,02 мм), высокое качество поверхности, получение очень тонкостенных профилей.

## Лекция №6

### ОСНОВЫ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. [Общие сведения](#)
2. [Формовочные смеси](#)
3. [Литейная технологическая оснастка](#)
4. [Литниковые системы](#)
5. [Прибыли](#)
6. [Ручная формовка](#)

#### Общие сведения

Сущность литейного производства состоит в получении отливок — литых металлических изделий путем заливки расплавленного металла или сплава в литейную форму.

Значение литейного производства исключительно велико. Нет ни одной отрасли машиностроения и приборостроения, где не применяли бы литые детали. В машиностроении масса литых деталей составляет около 50% массы машин и механизмов, в станкостроении — около 80%, в тракторостроении - около 60%. Это объясняется рядом преимуществ литейного производства по сравнению с другими способами получения заготовок или готовых изделий. Литьем получают детали как простой, так и очень сложной формы, которые нельзя или очень трудно получить другими способами. Во многих случаях это наиболее простой и дешевый способ получения изделий. Масса деталей колеблется от нескольких граммов до нескольких сот тонн.

Некоторые специальные способы литья позволяют получать отливки с высокой чистотой поверхности и точностью по размерам, что резко сокращает или исключает совсем их последующую механическую обработку. Кроме «традиционных» литейных сплавов: чугуна, стали, бронзы, литье все шире применяют для изготовления изделий из нержавеющей и жаропрочных сталей, магнитных и других сплавов с особыми физическими свойствами.

Широкому развитию литейного производства, особенно за последнее десятилетие, способствует совершенствование старых и появление новых способов литья, непрерывно повышающийся уровень механизации и автоматизации технологических процессов, специализация и централизация производства.

#### ФОРМОВОЧНЫЕ СМЕСИ

В литейном производстве наиболее распространено получение литых деталей в разовых формах, изготовленных из песчано-глинистых и других смесей.

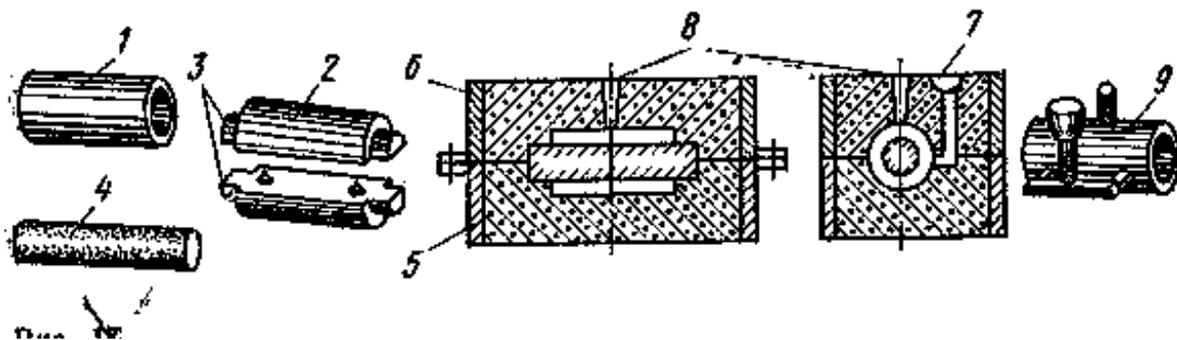


Рис.16 Отливка детали в разовой форме.  
Литейная форма из формовочной смеси:

- 1 — отливаемая деталь; 2 — -разъемная модель; 3 - стержневые знаки модели;  
4 — стержень; 5,6 — верхняя и нижняя опоки; 7 — литниковая система;  
8—выпор; 9 — отливка

Разовая форма пригодна только для одной отливки. При выемке (выбивке) готовой детали форму разрушают. На рисунке приведена литейная форма для получения втулки. Форма состоит из двух полуформ, полученных набивкой (уплотнением) формовочной смеси в металлические рамки—опоки 5,6. Для изготовления верхней и нижней полуформ используют разъемную модель 2. Отверстие в отливке получают с помощью стержня 4, отдельно изготовленного из стержневой смеси. При сборке форм стержень устанавливают в углубления (гнезда), образованные в форме знаками модели 3.

Металл заливают через литниковую систему. Воздух и выделяющиеся газы удаляются через выпор 8. Готовую отливку 9 извлекают из формы, отрезают литники, очищают поверхность от остатков формовочных материалов и направляют на механическую обработку.

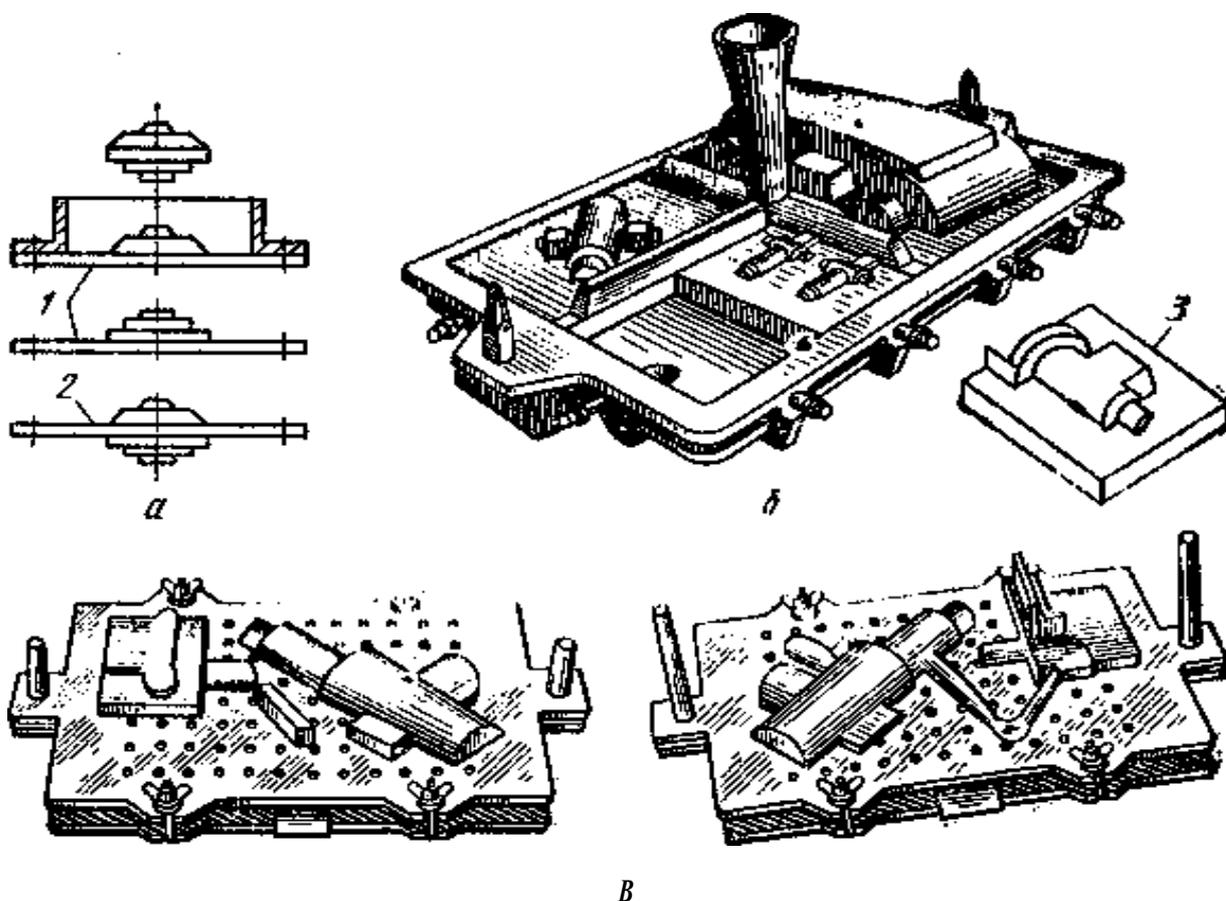
## ЛИТЕЙНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА

В комплект литейной технологической оснастки для изготовления форм из формовочных смесей входят модели, модельные плиты, стержневые ящики и т. д. **Модели** — приспособления, при помощи которых в формовочной смеси получают отпечатки полости, соответствующие наружной конфигурации отливок. Отверстия и полости внутри отливок образуют при помощи стержней, устанавливаемых в формы при их сборке. Размеры модели делают больше, чем соответствующие размеры отливки, на величину линейной усадки сплава, которая составляет для углеродистой стали 1,8—2%, для чугуна 0,8—1,2%. Если отливки подвергают механической обработке, то в соответствующих размерах модели учитывают величину припусков — слоя металла, удаляемого при механической обработке. Величина припуска зависит от размеров отливки, вида сплава. Она составляет, например, для мелкого чугунного литья 0,7—5 мм на сторону. Модели делают из древесины, металлических сплавов и пластмасс.

**Деревянные модели** изготавливают из плотной, хорошо просушенной древесины — сосны, бука, ясеня и др. Для предотвращения коробления модель изготавливают не из целого куска древесины, а склеивают из отдельных частей (брусочков) с тем, чтобы направление волокон было разным. Во избежание деформирования модели во влажных формовочных смесях и для лучшей вытяжки из формы их окрашивают; для чугунных отливок принят красный цвет, для стальных — синий.

Преимущество деревянных моделей — их дешевизна, простота изготовления; при больших размерах — небольшая масса; основной недостаток — недолговечность.

**Металлические модели** по сравнению с деревянными имеют значительно большую долговечность, высокую юность и чистую рабочую поверхность. Такие модели чаще всего делают из алюминиевых сплавов. Эти сплавы имеют малую плотность, не окисляются, хорошо обрабатываются резанием. Для уменьшения массы металлические модели обычно делают пустотелыми с ребрами жесткости внутри.



**Рис.17 Модельные комплекты;**

**а** — модельная плита односторонняя (1) и двухсторонняя (2); **б** — под модельная плита со сменными вкладышами 3; **в** — координатная плита

**Модели из пластмасс** устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют небольшую массу. Перспективным является применение моделей из вспененного полистирола, газифицирующегося при заливке металла в форму. Применение таких, неудаляемых из формы моделей упрощает формовку, способствует улучшению качества литья.

Для **машинной формовки** широко применяют модельные комплекты: металлические модельные плиты и быстросменную модельную оснастку-координатные подмодельные плиты и подмодельные плиты со сменными вкладышами.

Металлические модельные плиты с одной или несколькими моделями используют в массовом производстве. Такие плиты могут быть односторонними для раздельной формовки верхней и нижней полуформ, а также двусторонними, когда части моделей размещены на обеих сторонах плиты. Машинная формовка с применением металлических плит обеспечивает высокое качество отливок.

**Координатные подмодельные плиты** применяют, когда по условиям производства необходима частая смена моделей. Металлическая плита имеет большое число отверстий. Они обозначены по горизонталям буквами, по вертикалям цифрами и, таким образом, каждое из них имеет свой шифр, например Л5, Б8 и т. д. Модель быстро и точно устанавливают на плите по направляющим штифтам и затем укрепляют на плите

при помощи болтов. **Подмодельные плиты** со сменными вкладышами (см. рис. 17, б) позволяют произвести очень быструю смену моделей. Они состоят из металлической рамки и сменных металлических или деревянных вкладышей (иногда координатных) с прикрепленными к ним моделями. Конструкция плит предусматривает быструю смену и надежное крепление вкладышей.

**Стержневые ящики** для изготовления стержней должны обеспечивать равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Как и модели, стержневые ящики имеют литейные уклоны, при назначении их размеров учитывают величину усадки сплава и, если требуется, также и припуска на механическую обработку. Стержневые ящики делают из тех же материалов, что и модели. По конструкции стержневые ящики могут быть неразъемными (вытряхными) и разъемными (рис. 18). Ящики для изготовления стержней из смесей горячего затвердевания имеют электрические или газовые нагреватели.

**Опоки** — прочные металлические рамы различной формы, предназначенные для изготовления литейных полуформ из формовочных смесей (рис. 19). Опоки изготавливают из серого чугуна, стали, алюминиевых сплавов. Они могут быть цельнолитыми, сварными или сборными из отдельных литых частей. Стенки опок часто делают с отверстиями для уменьшения их веса, удаления газов из формы при заливке и для лучшего сцепления формовочной земли с опокой. Для удержания уплотненной делают внутренние ребра. Соединяют опоки штырями и центрирующими отверстиями в приливах. Для скрепления опок применяют скобы или другие приспособления.

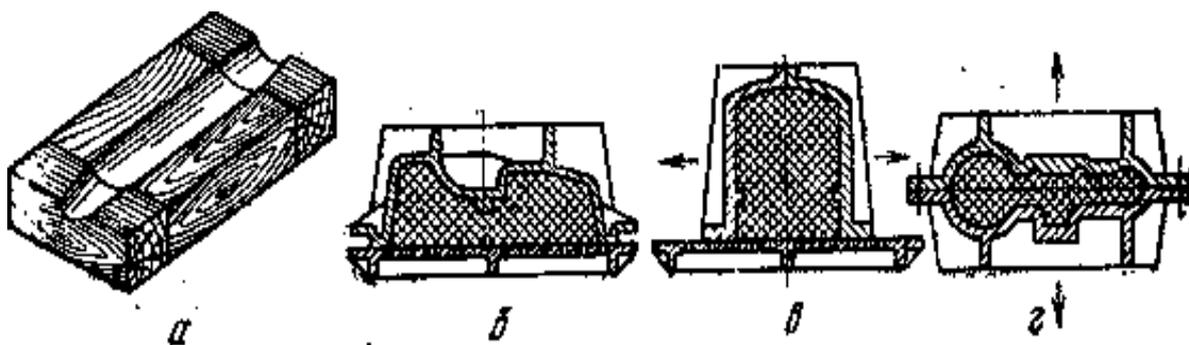


Рис. 18. Стержневые ящики:

а -деревянный (половина); металлические; б — неразъемный (вытряхной)  
в — с вертикальным разъемом; г — с горизонтальным разъемом

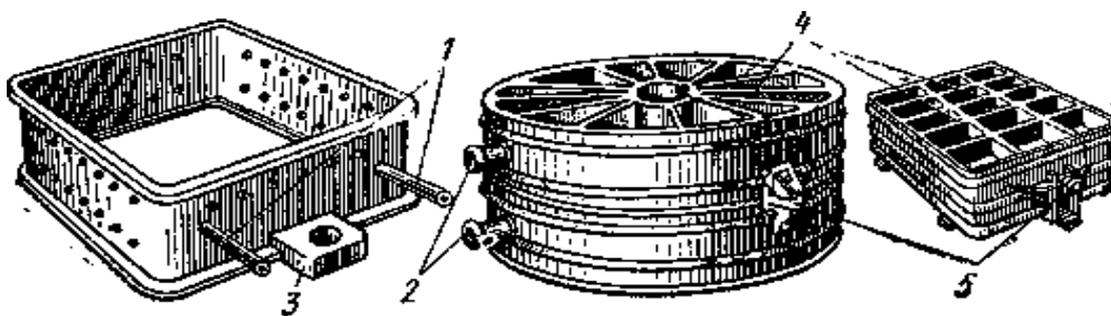


Рис.19. Опоки:

1 - ручка; 2 - цапфа; 3 – центрирующее отверстие;  
4 –внутренние ребра; 5 – скрепленный опок.

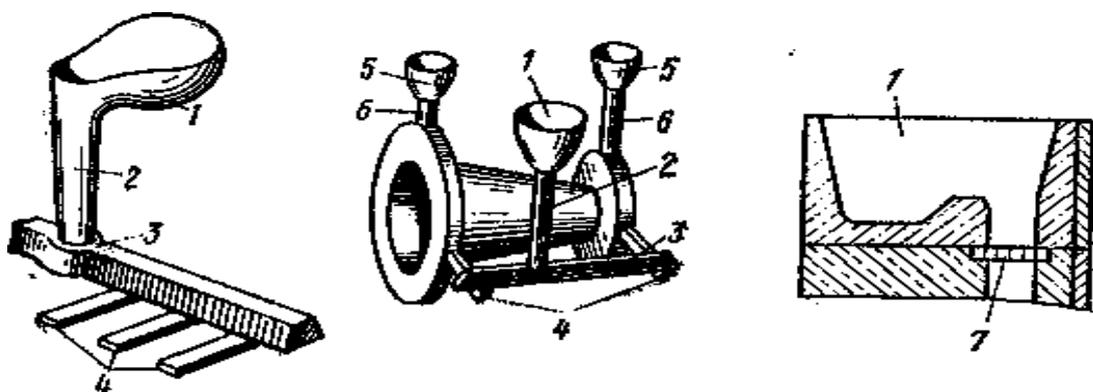
## ЛИТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Литейную форму заливают расплавом через литниковую систему. Литниковой системой называют совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из ковша в полость формы. Литниковая система должна обеспечить непрерывное поступление расплава и форму, питание отливки для компенсации усадки, предотвращать разрушение формы, попадание шлака и воздуха со струей расплава.

Основными элементами литниковой системы являются литниковая чаша, стояк, шлакоуловитель, питатели (рис. 20). Чаша уменьшает размывающее действие струи расплава, задерживает всплывающий шлак.

Для лучшего задержания шлака в литниковой системе для чугунного литья выдерживают следующее соотношение величины сечения стояка, шлакоуловителя и питателей:  $F_{ст} > F_{шл} > F_{пит}$ .

На верхних частях средних и крупных отливок делают выпоры — каналы для выхода из формы воздуха и газов и всплывающих неметаллических включений. Они содействуют нормальной усадке застывающего сплава.



**Рис. 20. Элементы литниковой системы:**

1 — литниковая чаша; 2 — стояк; 3 — шлакоуловитель; 4 — питатели; 5, 6 — чаша и стояк выпоров (прибылей); 7 — фильтр из специальной Стеклоткани

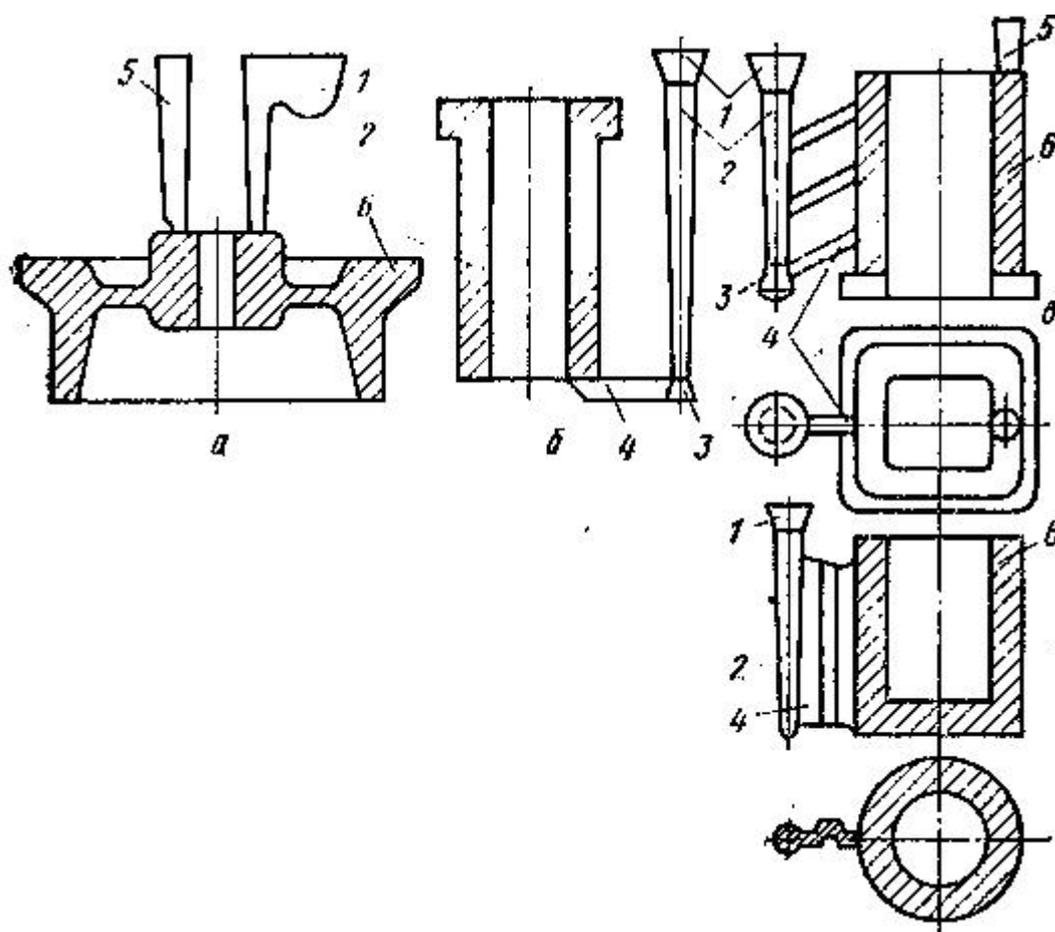


Рис. 21. Типы литниковых систем:

А- верхняя; б – сифонная; в – ярусная; г – вертикально-щелевая: 1 – чаша; 2 – стояк; 3 – литниковый ход; 4 – питатель; 5- выпор; 6 – отливка.

Литниковые системы в зависимости от формы, размера отливки, состава и свойств литейного сплава имеют различное, иногда сложное устройство (рис. 21).

Верхняя литниковая система наиболее проста. Ее применяют для мелких деталей небольшой высоты. С увеличением высоты происходит размывание формы струей расплава, разбрызгивание и окисление его, увеличивается количество неметаллических включений в теле отливки.

Нижнюю (или сифонную) литниковую систему применяют для средних и толстостенных отливок значительной высоты. Она обеспечивает спокойное заполнение формы расплавом. Вместе с тем эта система более сложна.

Ярусная литниковая система обеспечивает последовательное питание отливки снизу вверх и ее применяют для крупных отливок. Недостатки ярусной литниковой системы — сложность в изготовлении и значительный расход расплава. Ее разновидность — вертикально-щелевая система — предназначена маным образом для цветных сплавов.

Для лучшего задержания шлаковых включений в литниковые чаши или другие элементы литниковой системы иногда устанавливают фильтры, например керамические сетки. С их помощью можно отделить относительно крупные шлаковые частицы.

Чрезвычайно перспективным способом тонкой очистки металлических расплавов в литниковых системах является фирам-процесс (фильтрационное рафинирование металлов), при котором фильтрующий узел делают из специальной стеклоткани (см. рис.20). При фирам-процессе значительно повышается чистота металла и, как следствие,

качество отливок, уменьшается брак, что в целом дает значительный экономический эффект. Этот способ используют на многих предприятиях для отливок из серого и высокопрочного чугуна, бронзы и других сплавов.

## ПРИБЫЛИ

Назначение прибылей — получение отливок без усадочных раковин и пористости, которые могут образовываться вследствие уменьшения объема расплава при его затвердевании. Прибыли размещают у массивных частей отливки, где усадка проявляется наиболее значительно.

Прибыли различают по их геометрической форме, месту расположения, условиям питания металлом тела отливки и т. д. Выбор рациональной прибыли зависит от формы, размеров, массы отливки, величины усадки сплава и других условий. Правильность расчета прибылей проверяют экспериментальными исследованиями структуры металла. Некоторые типы прибылей показаны на рис. 186.

**Открытые прибыли** прямого питания применяют для крупных стальных отливок, производя иногда доливку, по мере снижения уровня металла. Такая прибыль служит также выпором, в нее могут всплывать частицы формочной смеси и другие загрязнения.

Во многих случаях применяют **закрытые прибыли**, дающие экономию металла. Например, для ответственных стальных отливок с массой 100 — 500 кг и толщиной стенок до 30 мм технологический выход годного составляет при открытых прибылях 56—64%, при закрытых 61 — 69%. Наименьший необходимый объем имеют прибыли шаровой формы, наибольший — конический

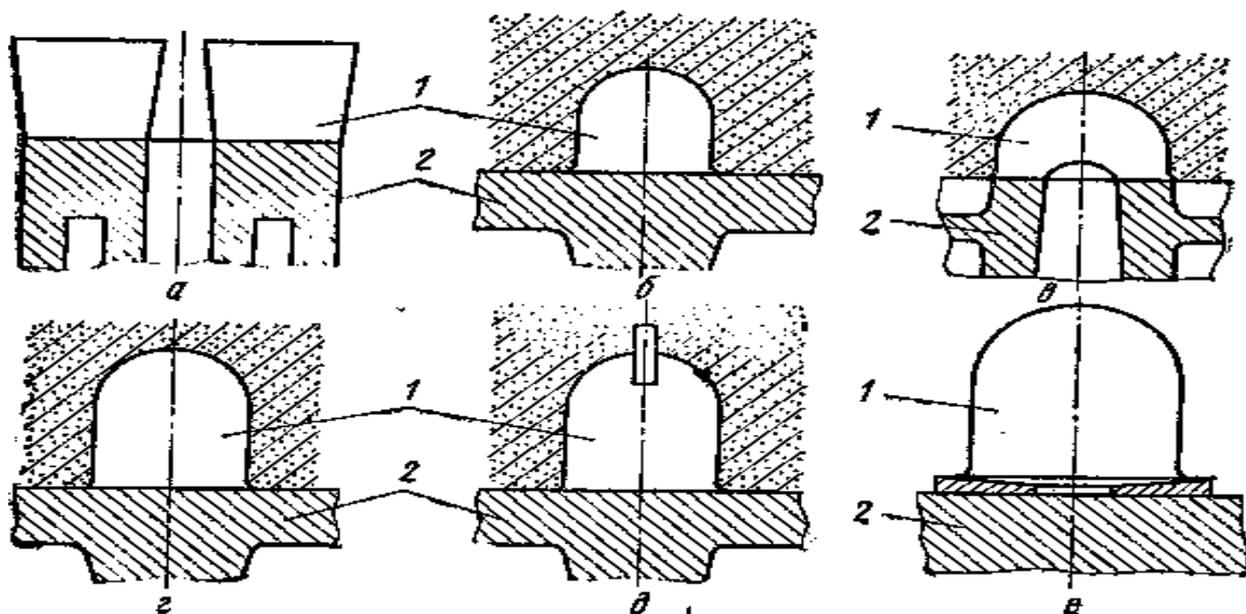


Рис.22. Прибыли:

- а — открытая коническая; б — закрытая полушаровая; в — закрытая шаровая;  
 г — работающая под атмосферным давлением; д — работающая под газовым давлением; е — легкоотделяемая

*В закрытых прибылях, действующих под атмосферным давлением*, создаются благоприятные условия для образования выгодно расположенных усадочных раковин и обеспечения плотной структуры отливки. Атмосферное давление создают, устанавливая в полость прибыли специальные газопроницаемые стержни из песчано-масляных смесей.

**Прибыли, действующие под давлением газов**, впервые разработаны советскими исследователями П. И. Яшмановым, А. А. Рыжиковым и др. В полость прибыли помещают в специальном патроне заряд газотворного вещества, обычно мел с добавками кокса. Патрон устроен так, что заряд начинает разлагаться после образования на поверхности прибыли тонкой твердой корочки металла. Выделяющиеся газы создают давление, вытесняя жидкий металл в тело отливки.

Для получения **легко отделяемых прибылей** (приоритет П. А. Иванова) применяют разделительные пластины (стержни-пластины, стержни-диафрагмы), например, как показано на рис. 17, е, которые изготавливают из шамотно-глинистых смесей.

## РУЧНАЯ ФОРМОВКА

**Машинная формовка** — главный способ изготовления форм и отечественном литейном производстве. Доля ручной формовки составляет менее 8% отливок по массе и непрерывно сокращается.

**Ручная формовка** связана с тяжелой и трудоемкой работой, что приводит к низкой производительности. Этот способ формовки еще находит некоторое применение для получения мелких и средних отдельных отливок или небольшой их партии. Более важное значение ручная формовка имеет в производстве крупных отливок в почву (в кессонах), формы для которых трудно или невозможно изготовить методами машинной формовки.

**Формовка в двух опоках по разъемной модели** наиболее распространенный способ ручной формовки в производстве мелких и средних отливок — показана на рис. 23. Для изготовления нижней полуформы на подмодельный щиток устанавливают половину модели 3, опоку 2, засыпают и уплотняют трамбовкой сначала облицовочную, а затем наполнительную смесь; в уплотненной смеси специальной иглой делают газоотводные (вентиляционные) наколы. Затем опоку поворачивают на 180° (см. рис. 23,в), устанавливают по шипам вторую половину модели, модели стояка и выпора. После уплотнения смеси делают вентиляционные наколы и вынимают модели стояка и выпора; затем опоку снимают и вынимают половинки модели (специальным приспособлением).

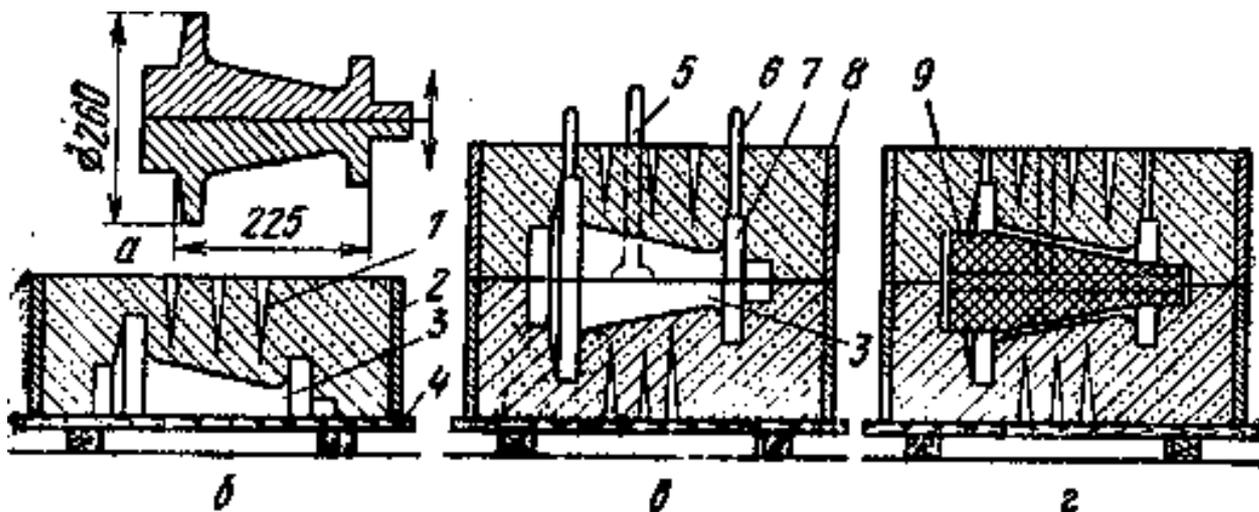


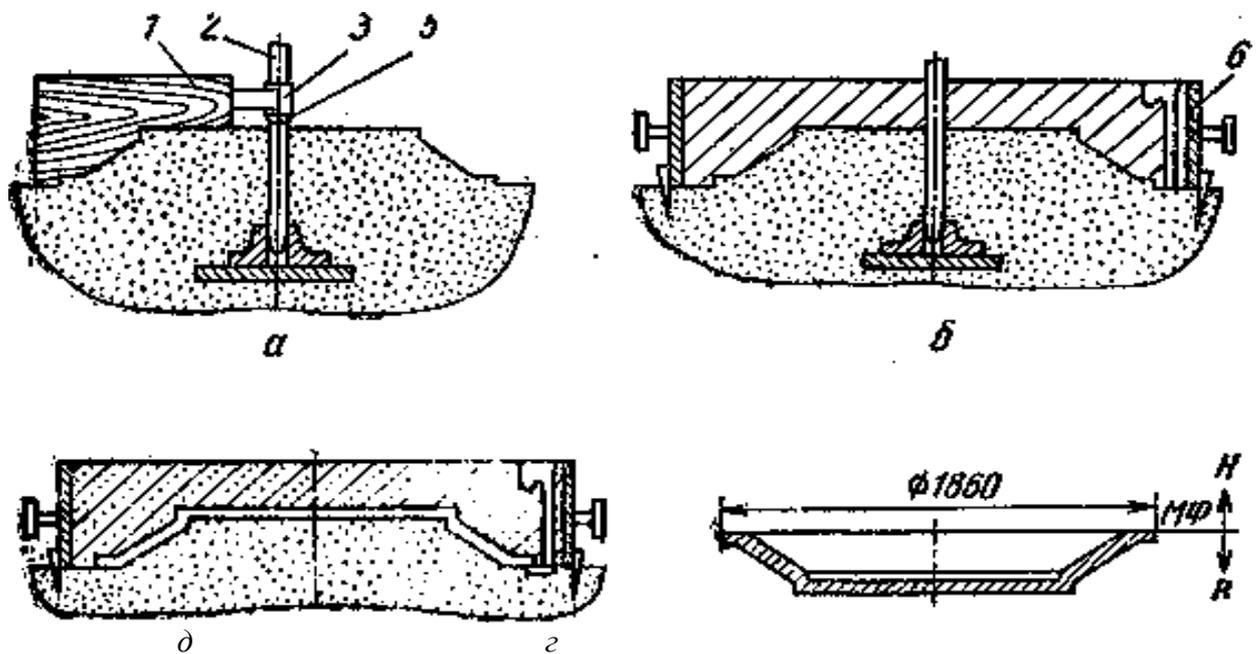
Рис. 23. Схема формовки в двух опоках по разъемной модели:

- а — модель; б, в — изготовление нижней и верхней полуформ; г — собранная форма;  
 1 — вентиляционные наколы; 2 — нижняя опока; 3 — нижняя половина модели;  
 4 — подмодельный щиток; 5 — модель стояка; 6 — модели выпоров; 7 — верхняя половина модели; 8 — верхняя опока; 9 — стержень

В нижней полуформе прорезают питатель — канал, соединяющий стоек литниковой системы с телом отливки. Для удаления случайных частиц формовочной смеси полуформы обдувают воздухом и на их внутреннюю поверхность наносят тонкий слой припыла (для сухих форм — формовочной краски). При сборке формы в нее устанавливают отдельно изготовленный стержень.

**Формовка по шаблону** также находит некоторое применение в производстве отдельных средних и крупных отливок относительно простой формы, поверхности которых можно оформить вращением шаблона — профильной доски. Сущность изготовления формы поясняет рис. 24.

В уплотненной формовочной смеси вращением шаблона оформляют наружную поверхность отливки и используют ее как модель для формовки в опоке верхней полуформы. Затем удаляют опоку, вторым шаблоном оформляют нижнюю полуформу, снимая слой смеси, по величине равный толщине стенки отливки.



**Рис. 24. Схема формовки по шаблону:**

*a* — изготовление модели из формовочной смеси; *б* — изготовление верхней полуформы в опоке; *в* — собранная форма; *г* — отливка.

## ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОТЛИВОК СПЕЦИАЛЬНЫМИ СПОСОБАМИ ЛИТЬЯ

1. Литье в оболочковые формы
2. Литье по выплавляемым моделям
3. Литье в кокиль
4. Литье под давлением
5. Центробежное литье

Точность геометрических размеров, шероховатость поверхности отливок, полученных в песчаных формах, во многих случаях не удовлетворяет требованиям современной техники. Поэтому быстрыми темпами развиваются специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие, позволяющие получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключаящие ее, обеспечивают высокую производительность труда и т. д.

### 1. ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Оболочковые формы (разъемные, тонкостенные), изготавливают следующим образом: металлическую модельную плиту 1, нагретую до температуры 200—250 °С, закрепляют на опрокидывающем бункере 2 (рис. 25, а) с формовочной смесью 3 и поворачивают его на 180° (рис. 25, б). Формовочная смесь, состоящая из мелкозернистого кварцевого песка (93—96 %) и терморезактивной смолы ПК-104 (4—7 %), насыпается на модельную плиту и выдерживается 10—30 с. От теплоты модельной плиты терморезактивная смола в пограничном слое переходит в жидкое состояние, склеивает песчинки с образованием песчано-смоляной оболочки 4 толщиной 5—20 мм в зависимости от времени выдержки. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 25, в), излишки формовочной смеси ссыпаются на дно бункера, а модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и нагревается в печи при температуре 300—350 °С в течение 1—1,5 мин, при этом терморезактивная смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели специальными толкателями 5 (рис. 25, г). Аналогично изготавливают и вторую полуформу.

Готовые оболочковые полуформы склеивают быстротвердеющим клеем на специальных прессах, предварительно установив в них литейные стержни, или скрепляют скобами. Кроме оболочковых форм этим способом изготавливают оболочковые стержни, используя нагреваемые стержневые ящики. Оболочковые формы и стержни изготавливают на одно- и многопозиционных автоматических машинах и автоматических линиях.

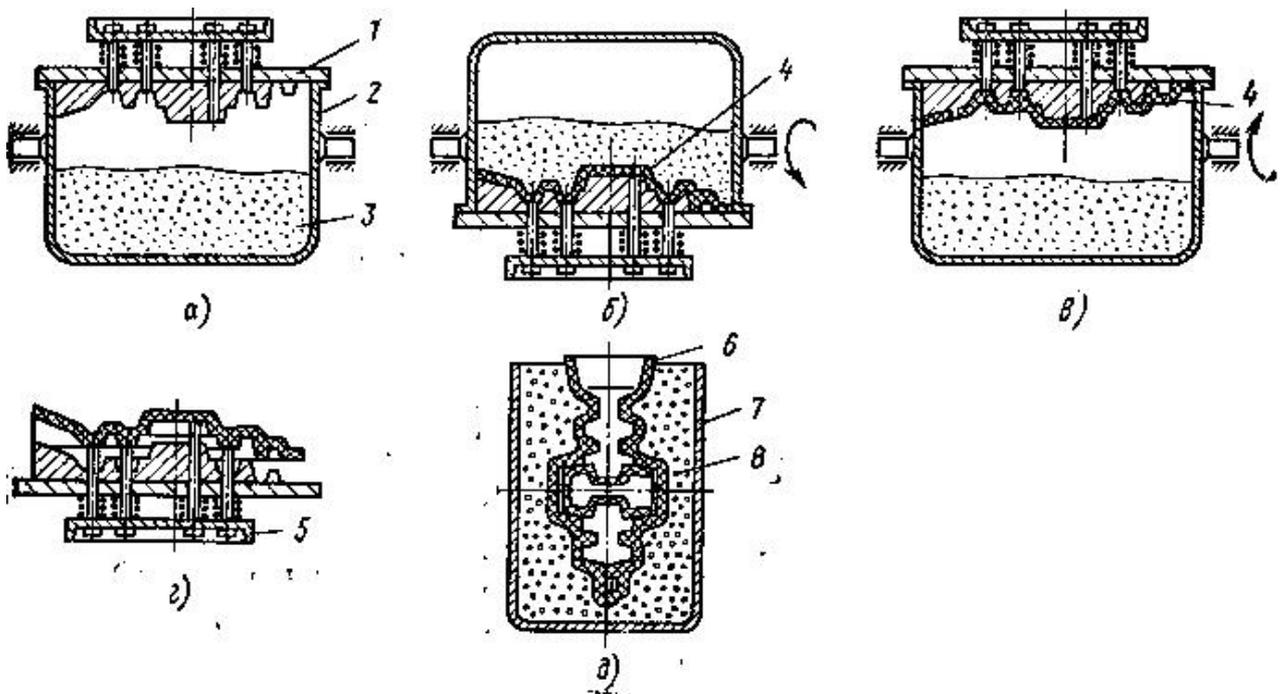


Рис.25. Последовательность операций формовки при литье в оболочковые формы

Заливка форм производится в вертикальном или горизонтальном положении. При заливке в вертикальном положении литейные формы *б* помещают в опоки-контейнеры *7* и засыпают кварцевым песком или металлической дробью *8* (рис. 25, *д*) для предохранения от преждевременного разрушения оболочки при заливке расплава.

Выбивку отливок проводят на специальных выбивных или вибрационных установках. При очистке отливок удаляют заусенцы, зачищают на шлифовальных кругах места подвода питателей и затем их подвергают дробеструйной обработке.

Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, так как формовочная смесь, обладая высокой подвижностью, дает возможность получать четкий отпечаток модели. Точность отпечатка не нарушается потому, что оболочка снимается с модели без расталкивания. Повышенная точность формы позволяет в 2 раза снизить припуски на механическую обработку отливок. Применяя мелкозернистый кварцевый песок для форм, можно снизить шероховатость поверхности отливок. Высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными, что значительно сокращает расход формовочных материалов и т. д. В оболочковых формах изготавливают отливки с толщиной стенки 3—15 мм и массой 0,25—100 кг для автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных машин из чугуна, углеродистых сталей, сплавов цветных металлов.

## 2. ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Этим способом отливки получают путем заливки расплавленного металла в формы, изготовленные по выплавляемым моделям многократным погружением в керамическую суспензию с последующими обсыпкой и отверждением.

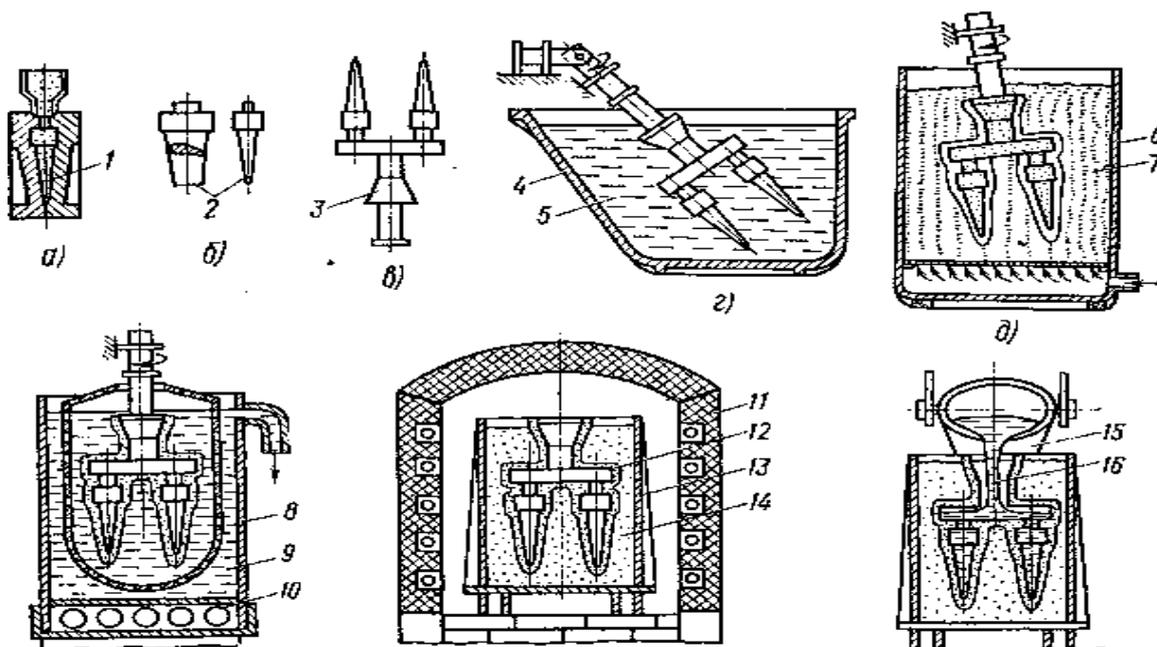
Разовые выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах из модельных составов, состоящих из двух или более легкоплавких компонентов (парафина, стеарина, жирных кислот, церезина и др.).

Модельный состав в пастообразном состоянии запрессовывают в пресс-формы *1* (рис. 26, *а*). После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель

2 (рис. 26, б) выталкивается в ванну с холодной водой. Затем модели собирают в модельные блоки 3 (рис. 26, в) с общей литниковой системой. В один блок объединяют 2—100 моделей.

Керамическую суспензию готовят тщательным перемешиванием огнеупорных материалов (пылевидного кварца, электрокорунда и др.) со связующим — гидролизованным раствором этил-силиката.

Формы по выплавляемым моделям изготавливают погружением модельного блока 3 в керамическую суспензию 5, налитую в емкость 4 (рис. 26, з) с последующей обсыпкой кварцевым песком 7 в специальной установке 6 (рис. 26, д). Затем модельные блоки сушат



**Рис.26. Последовательность операций процесса литья по выплавляемым моделям**

2—2,5 ч на воздухе или 20—40 мин в среде аммиака. На модельный блок наносят четыре—шесть слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя.

Модели из форм удаляют выплавлением в горячей воде. Для этого их погружают на несколько минут в бак 8, наполненный водой 9, которая устройством 10 нагревается до температуры 80—90 °С (рис.26, е). При выдержке модельный состав расплавляется, всплывает на поверхность ванны, откуда периодически удаляется для нового использования. После извлечения из ванны оболочки промывают водой и сушат в шкафах в течение 1,5—2 ч при температуре 200 °С. Затем оболочки 12 ставят вертикально в жаростойкой опоке 13 и вокруг засыпают сухой кварцевый песок 14 и уплотняют его, после чего форму направляют в электрическую печь 11 (рис. 26, ж), в которой ее прокаливают не менее 2 ч при температуре 900—950 °С. При прокатке частички связующего спекаются с частичками огнеупорного материала, испаряется влага, выгорают остатки модельного состава. Формы сразу же после прокатки (горячими) заливают расплавленным металлом 16 из ковша 15 (рис. 26, з).

После охлаждения отливки форма разрушается. Отливки на обрезных прессах или другими способами отделяются от литников и для окончательной очистки направляются на химическую очистку в 45 %-ном водном растворе едкого натра, нагретом до температуры 150 °С. После травления отливки промывают проточной водой, сушат, подвергают термической обработке и контролю.

Керамическая суспензия позволяет точно воспроизвести контуры модели, а образование неразъемной литейной формы с малой шероховатостью поверхности

способствует получению отливок с высокой точностью геометрических размеров и малой шероховатостью поверхности, что значительно снижает объем механической обработки отливок. Припуск на механическую обработку составляет 0,2—0,7 мм. Заливка расплавленного металла в горячие формы позволяет получать сложные по конфигурации отливки с толщиной стенки 1—3 мм и массой от нескольких граммов до нескольких десятков килограммов из жаропрочных, труднообрабатываемых сплавов (турбинные лопатки), коррозионно-стойких сталей (колеса для насосов), углеродистых сталей в массовом производстве (в автостроении, приборостроении и других отраслях машиностроения).

### 3. ЛИТЬЕ В КОКИЛЬ

При литье в кокиль отливки получают путем заливки расплавленного металла в металлические формы — кокили. По конструкции различают кокили: вытряхные (рис. 27, *а*); с вертикальным разъемом (рис. 27, *б*); с горизонтальным разъемом (рис. 27, *в*) и др.

Полости в отливках оформляют песчаными, оболочковыми или металлическими стержнями. Кокили с песчаными или оболочковыми стержнями используют для получения отливок сложной конфигурации из чугуна, стали и цветных сплавов, а с металлическими стержнями — для отливок из алюминиевые и магниевых сплавов.

Для получения сложной полости отливки используют разъемные стержни, состоящие из нескольких частей. Например, внутреннюю полость автомобильного поршня из алюминиевого сплава получают металлическим стержнем, состоящим из трех частей: центрального стержня 2 и двух боковых 1 и 3 (рис. 28, *а*). После заливки кокиля сплавом и образования достаточно прочной корки в отливке извлекают центровой — клинообразный — стержень 2 (рис. 28, *б*), затем боковые 1 и 3, а потом стержни 4 и 5, с помощью которых в поршне получают отверстия.

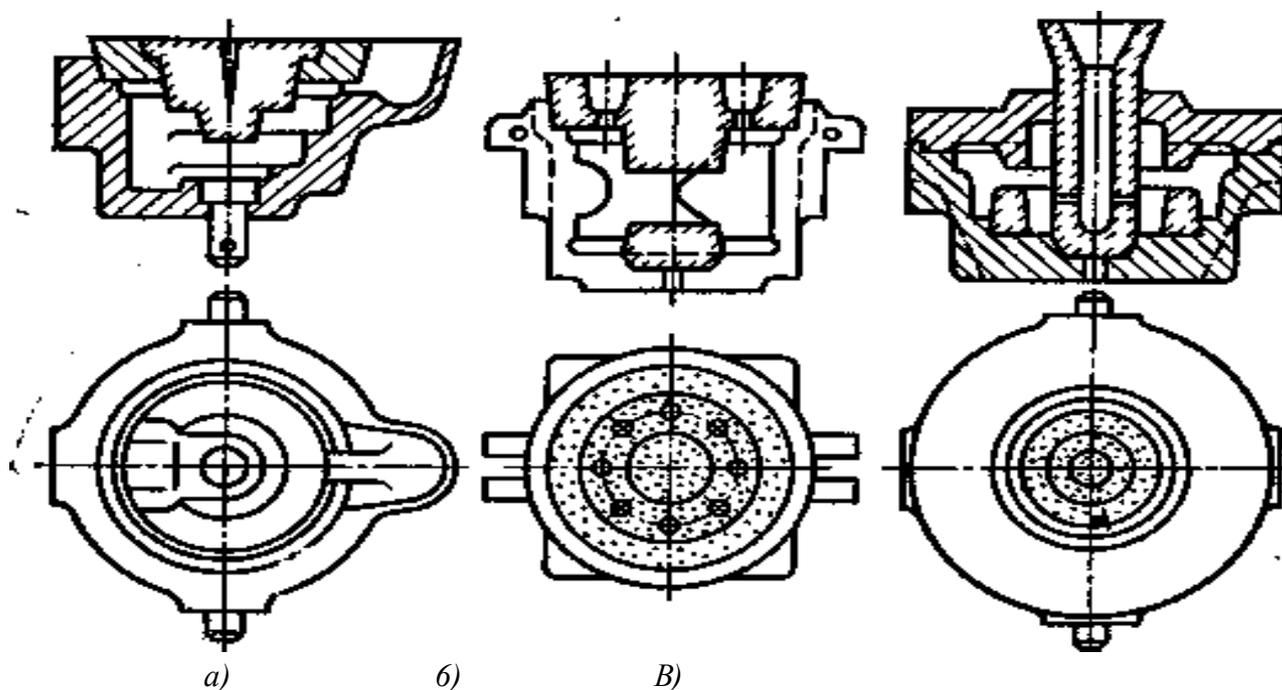


Рис. 27. Конструкции кокилей.

*а* — неразъемные; *б* - с вертикальным разъемом; *в* - с горизонтальным разъемом

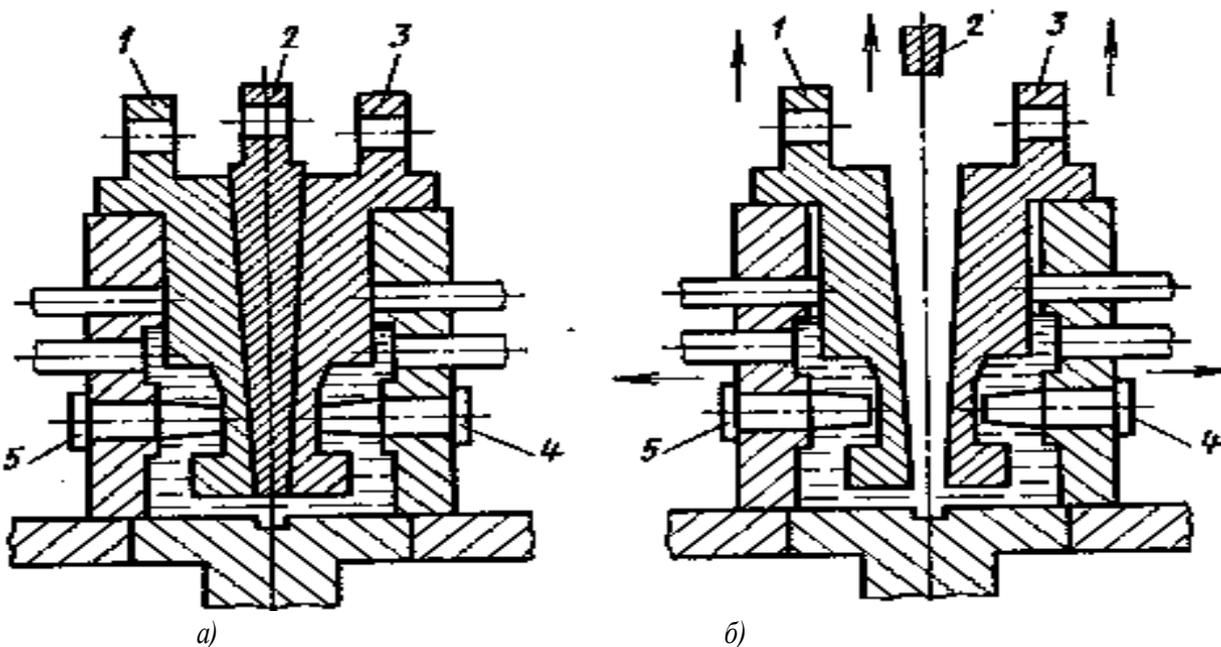


Рис. 28. Кокиль для отливки поршня с разъемным металлическим стержнем.

Для удаления воздуха и газов из полости формы по плоскости разъема кокиля выполняют вентиляционные каналы. Отливки из рабочей полости удаляют выталкивателями. Заданный тепловой режим литья обеспечивает система подогрева и охлаждения кокиля.

Рабочую поверхность кокиля и металлических стержней очищают от ржавчины и загрязнений. Затем на рабочую поверхность кокиля наносят теплозащитные покрытия для предохранения его стенок от воздействия высоких температур заливаемого металла, для регулирования скорости охлаждения отливки, улучшения заполнения кокиля, облегчения извлечения отливки и т. д.

Теплозащитные покрытия готовят из огнеупорных материалов (пылевидного кварца, молотого шамота, графита, мела и др.), связующего (жидкого стекла и др.) и воды. Теплозащитные покрытия наносят пульверизатором на предварительно подогретый до температуры 140—180 °С кокиль слоем толщиной 0,3—0,8 мм.

Заключительная операция подготовки кокиля: нагрев его до температуры 150—350 °С. Температуру нагрева кокиля назначают в зависимости от сплава и толщины стенок отливки. Например, при изготовлении чугуновых отливок с толщиной стенок 5—10 мм кокиль нагревают до 300—350 °С, при толщине стенок 10—20 мм — до 150—250 °С, для алюминиевых и магниевых отливок — до 250—350 °С.

При сборке кокилей в определенной последовательности устанавливают металлические или песчаные стержни, проверяют точность их установки и закрепления, соединяют половины кокиля и скрепляют их.

Заливку металла осуществляют разливочными ковшами или автоматическими заливочными устройствами. Затем отливки охлаждают до температуры выбивки, составляющей 0,6—0,8 температуры солидуса сплава, и выталкивают из кокиля. После этого отливки подвергают обрубке, очистке и в случае необходимости — термической обработке.

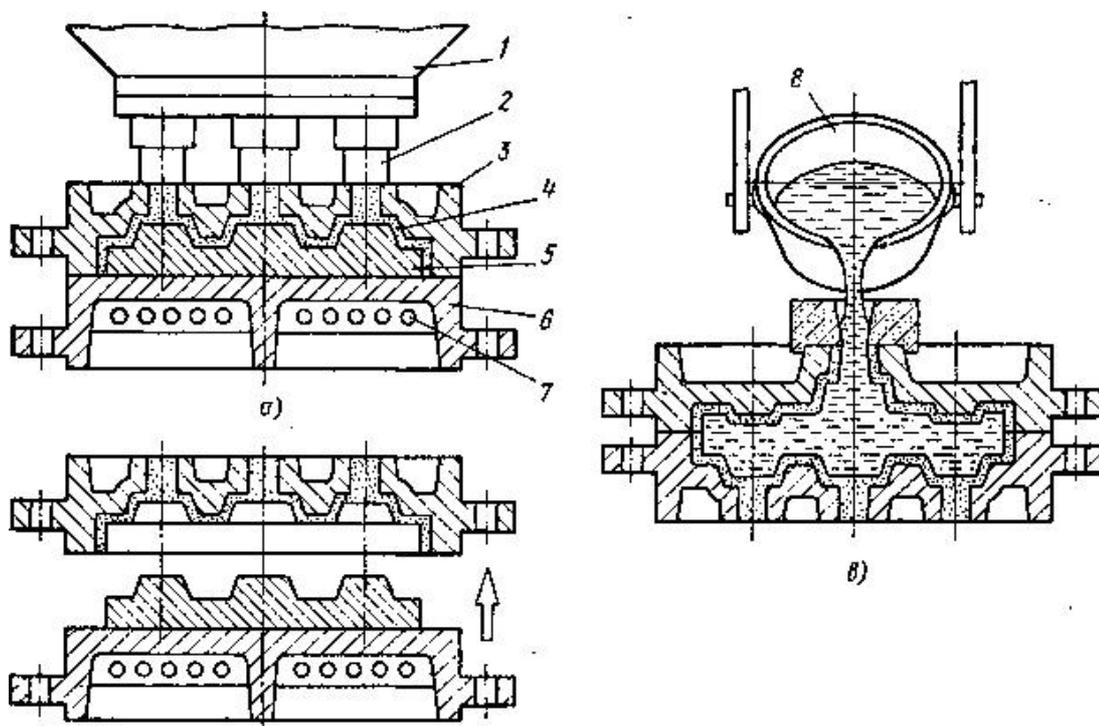


Рис. 29 Схема процесса изготовления отливок в облицованные кокили

Разновидностью кокильного литья является литье в облицованные кокили.

Литье в облицованные кокили (рис. 29) состоит в том, что модельную плиту 6 с моделью 5 нагревают электрическими или газовыми нагревателями 7 до температуры 200—220 °С. На модельную плиту устанавливают нагретый до температуры 200—220 °С кокиль 3. В зазор между кокилем 3 и моделью 5 из пескодувной головки 1 через сопла 2 вдувается формовочная смесь с термореактивным связующим (рис. 29, а). Оболочка 4 толщиной 3—5 мм формируется и упрочняется за счет теплоты кокиля и модели. После отверждения оболочки на кокиле модель извлекают (рис. 29, б). Аналогично изготавливают и вторую половину кокиля. После изготовления полуформ кокиль собирают, а затем из ковша 8 заливают расплавленным металлом (рис. 29, в).

Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины и автоматические кокильные линии изготовления отливок. Кокильное литье применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенок 3—100 мм, массой от нескольких десятков граммов до нескольких сотен килограммов.

При литье в кокиль сокращается расход формовочной и стержневой смесей. Затвердевание отливок происходит в условиях интенсивного отвода теплоты от залитого металла, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаные формы. Кокильные отливки имеют высокую геометрическую точность размеров и малую шероховатость поверхности, что снижает припуски на механическую обработку вдвое по сравнению с литьем в песчаные формы. Этот способ литья высокопроизводителен.

Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

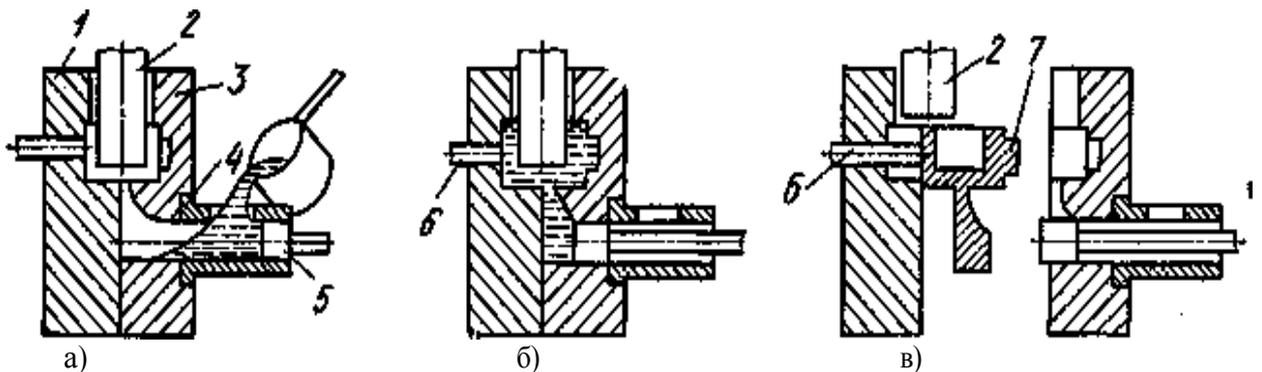
#### 4. ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под

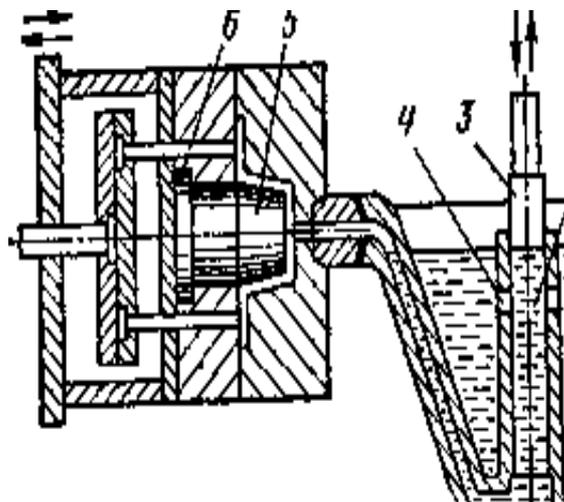
давлением. Изготавливают отливки на машинах литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной камерой прессования (рис. 30) порцию расплавленного металла заливают в камеру прессования 4 (рис. 30, а), который плунжером 5 под давлением 40—100 МПа подается в полость пресс-формы (рис. 30, б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной / полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается (рис. 30, в), извлекается стержень 2 и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы. Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120—320 °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки к пресс-форме. Воздух и газы удаляют через каналы глубиной 0,05—0,15 мм и шириной 15 мм, расположенные в плоскости разъема пресс-формы, или вакуумированием рабочей полости перед заливкой расплавленного металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг.

На машинах с горячей камерой прессования (рис. 31) камера прессования 2 расположена в обогреваемом тигле 1 с расплавленным металлом. При верхнем положении плунжера 3 расплавленный металл через отверстие 4 заполняет камеру прессования. При движении плунжера вниз



**Рис. 30. Схема процесса изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования**



отверстия перекрываются, сплав под давлением 10—30 МПа заполняет полость пресс-формы 5. После затвердевания отливки плунжер возвращается в исходное положение, остатки расплавленного металла из канала сливаются в камеру прессования, а отливка из пресс-формы удаляется выталкивателями 6. Такие машины используют при изготовлении отливок из цинковых и магниевых сплавов массой от нескольких граммов до 25 кг.

**Рис. 31. Схема процесса изготовления отливок на машинах с горячей камерой прессования.**

При литье под давлением температуру заливки сплава выбирают на 10—20 °С выше температуры ликвидуса.

Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности за счет точной обработки и тщательного полирования рабочей полости пресс-формы; без механической обработки или с минимальными припусками, что резко сокращает объем механической обработки отливок; с высокой производительностью.

Недостатки литья под давлением — высокая стоимость пресс-форм и оборудования; ограниченность габаритных размеров и массы отливок; наличие воздушной пористости в массивных частях отливок, снижающей прочность деталей, и др.

В настоящее время создаются автоматизированные установки литья под давлением, в которых автоматически производятся смазывание пресс-форм, регулирование их теплового режима, подача расплавленного металла в камеру прессования, извлечение отливки и транспортирование ее к обрезающему прессу для удаления литников.

## 5. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ

При центробежном литье сплав заливают во вращающиеся формы; формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок.

Центробежным литьем отливки изготовляют в металлических, песчаных, оболочковых формах и в формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной или вертикальной осью вращения.

Металлические формы (изложницы) изготовляют из чугуна и стали. Толщина изложницы обычно в 1,5—2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы подогревают до температуры 200 °С.

При получении чугунных водопроводных труб на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 32, а) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница 2 приводится во вращение электродвигателем 1. Расплавленный чугун из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки чугуна перемещается в направлении, показанном стрелкой, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют либо песчаный, либо оболочковый стержень 8. После затвердевания залитого чугуна трубу извлекают из изложницы. На этих машинах изготовляют втулки, кольца и т.п.

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 32, б) расплавленный металл из разливочного ковша 4 заливают в литейную форму 2, укрепленную на шпинделе У, который вращается от электродвигателя. Расплавленный металл центробежными силами прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания. После остановки формы отливка 3 извлекается. На этих машинах изготовляют кольца большого диаметра высотой не более 500 мм.

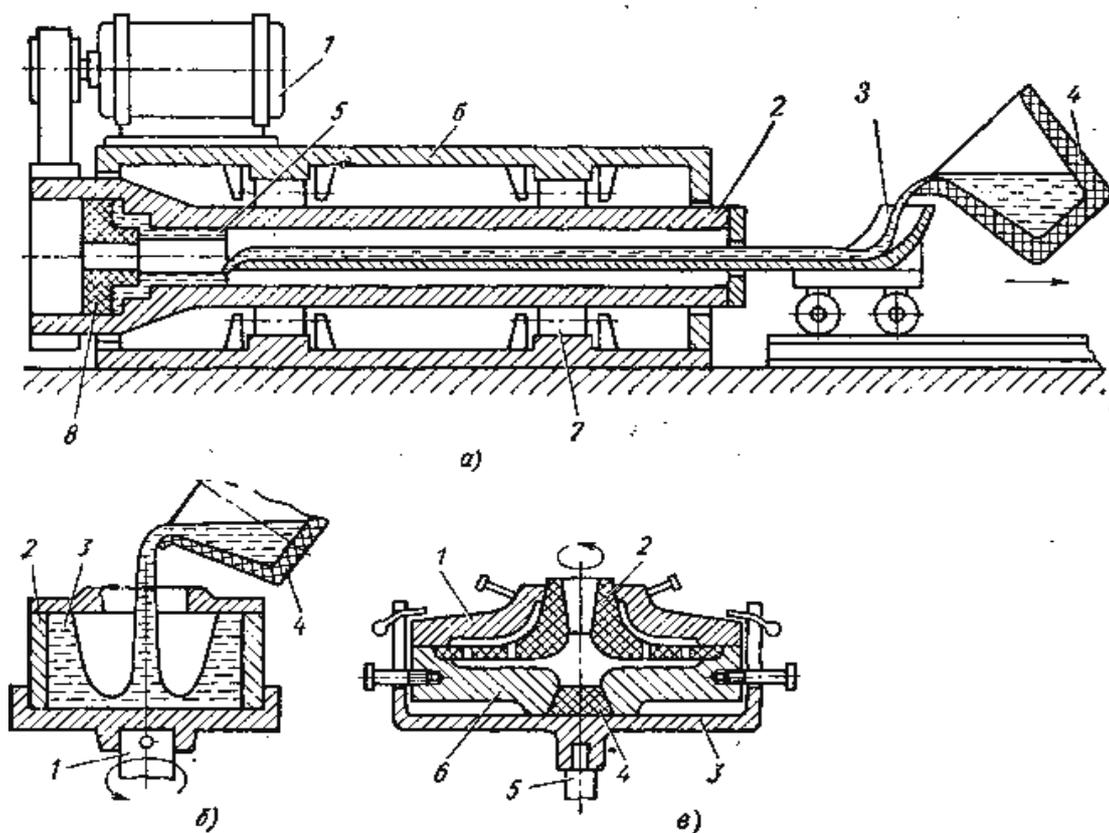


Рис. 32. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем.

На рис. 32, в показана схема процесса литья сложных тонкостенных рабочих колес на машинах с вертикальной осью вращения. Здесь 1, 6 половины кокиля; 2 — стержень, который формирует канал рабочего колеса и его лопасти; 3 — стол машины; 4 — стержень, воспринимающий удар струи заливаемого металла; 5 — шпиндель центробежной машины. Частота вращения изложницы при центробежном литье составляет 150—1200 об/мин. Изложницы перед заливкой нагревают до температуры 150—200 °С. Температуру заливки сплавов назначают на 100—150 °С выше температуры ликвидуса.

Преимущества центробежного литья — получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней; большая экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы; возможность получения двухслойных заготовок, что достигается поочередной заливкой в форму различных сплавов (сталь и чугун, чугун и бронза и т. д.).

## ЛЕКЦИЯ 8 СВАРОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

1. [Физические основы сварочного соединения](#)
2. [Дуговая сварка](#)
3. [Термическая резка металлов](#)
4. [Контактная сварка](#)

- [5. Стыковая сварка](#)
- [6. Точечная сварка](#)
- [7. Шовная сварка](#)
- [8. Сварка трением](#)
- [9. Ультразвуковая сварка](#)

## 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ

*Сварка* — технологический процесс получения неразъемных соединений материалов посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого. Сваркой соединяют однородные и разнородные металлы и их сплавы, металлы с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, стеклом и др.), а также пластмассы.

Сварка — экономически выгодный, высокопроизводительный и в значительной степени механизированный технологический процесс, широко применяемый практически во всех отраслях машиностроения.

Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами или молекулами на соединяемых поверхностях заготовок. Для образования соединений необходимо выполнение следующих условий: освобождение свариваемых поверхностей от загрязнений, оксидов и адсорбированных на них инородных атомов; энергетическая активация поверхностных атомов, облегчающая их взаимодействие друг с другом; сближение свариваемых поверхностей на расстояния, сопоставимые с межатомным расстоянием в свариваемых заготовках.

Указанные условия реализуются различными способами сварки путем энергетического воздействия на материал в зоне сварки. Энергия вводится в виде теплоты, упругопластической деформации, электронного, ионного, электромагнитного и других видов воздействия. В результате поверхностные атомы металлов и кристаллических неметаллических материалов образуют общие для соединяемых заготовок кристаллические решетки, а на поверхности пластмасс происходит объединение частей молекулярных цепей.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, все виды сварки разделяют на три класса: термический, термомеханический и механический.

К **т е р м и ч е с к о м у** классу относятся виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии (дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая и др.).

К **т е р м о м е х а н и ч е с к о м у** классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления (контактная, диффузионная и др.).

К **м е х а н и ч е с к о м у** классу относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления (ультразвуковая, взрывом, трением, холодная и др.).

*Свариваемость* — свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Свариваемость материалов оценивают степенью соответствия заданных свойств сварного соединения одноименным свойствам основного металла и их склонностью к образованию таких сварочных дефектов, как трещины, поры, шлаковые включения и др. По этим признакам материалы разделяют на хорошо, удовлетворительно и плохо сваривающиеся. Многие разнородные материалы, особенно металлы с неметаллами, не

вступают во взаимодействие друг с другом. Такие материалы относятся к числу практически несваривающихся.

Свариваемость материалов в основном определяется типом и свойствами структуры, возникающей в сварном соединении при сварке. При сварке однородных металлов и сплавов в месте соединения, как правило, образуется структура, идентичная или близкая структуре соединяемых заготовок. Этому случаю соответствует хорошая свариваемость материалов. При сварке разнородных материалов в зависимости от различия их физико-химических свойств в месте соединения образуется твердый раствор с решеткой одного из материалов либо химическое или интерметаллидное соединение с решеткой, резко отличающейся от решеток исходных материалов. Механические и физические свойства твердых растворов, особенно химических или интерметаллидных соединений, могут значительно отличаться от свойств соединяемых материалов. Такие материалы относятся к удовлетворительно сваривающимся. Если образуются хрупкие и твердые структурные составляющие в сварном соединении, то в условиях действия сварочных напряжений возможно возникновение трещин в шве или околошовной зоне. В последнем случае материалы относятся к категории плохо сваривающихся.

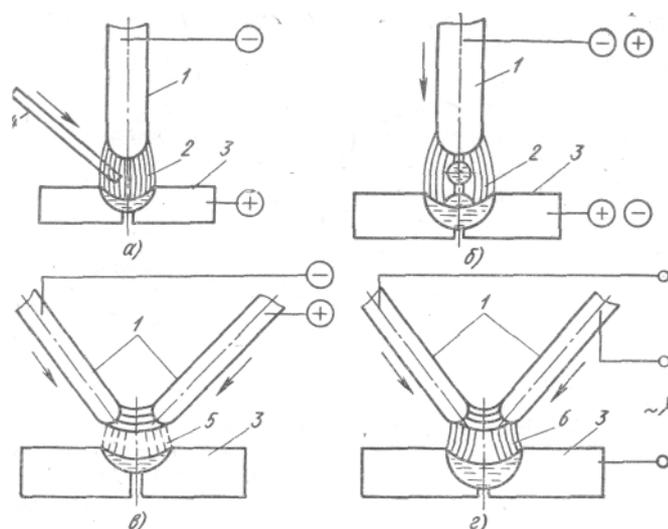
## ТЕРМИЧЕСКИЙ КЛАСС СВАРКИ

### 2 ДУГОВАЯ СВАРКА.

#### СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА

Источником теплоты при дуговой сварке служит электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие способы дуговой сварки: сварка *неплавящимся* (графитным или вольфрамовым) *электродом 1* дугой прямого действия *2* (рис. 33, а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла *3* либо с применением присадочного металла *4*; сварка *плавящимся* (металлическим) *электродом 1* дугой прямого действия *2* (рис. 33, б) с одновременным расплавлением основного металла *3* и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом; сварка *косвенной дугой 5* (рис. 33, в), горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами *1*; при этом основной металл *3* нагревается и расплавляется теплотой столба дуги; сварка *трехфазной дугой 6* (рис. 33, г), при которой дуга горит между электродами *1*, а также между каждым электродом и основным металлом *3*. Питание дуги осуществляется постоянным или переменным током. При применении постоянного тока различают сварку на прямой и обратной полярностях. В первом случае электрод подключают к отрицательному полюсу (катод), во втором — к положительному (анод).

Кроме того, различные способы дуговой сварки классифицируют также по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.



**Рис. 33.** Схемы дуговой сварки

### ***РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА***

Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые вручную подают в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис. 34) дуга 8 горит между стержнем электрода 7 и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в металлическую ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя газовую защитную атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак после остывания образует твердую шлаковую корку 2.

В перегретой сварочной ванне протекает ряд металлургических процессов: испарение или окисление (выгорание) некоторых легирующих элементов, например углерода, марганца, кремния, хрома и др., и насыщение расплавленного металла кислородом, азотом и водородом из окружающего воздуха. В результате возможно изменение состава сварного шва по сравнению с электродным и основным металлом, а также понижение его механических свойств, особенно вследствие насыщения шва кислородом. Для обеспечения заданных состава и свойств шва в покрытие вводят легирующие элементы и элементы-раскислители.

Кристаллизация сварного шва начинается от границ оплавленного основного металла и протекает путем роста столбчатых кристаллитов к центру шва. При этом оси кристаллита, как правило, остаются перпендикулярными к поверхности движущейся сварочной ванны, в результате чего кристаллиты изгибаются и вытягиваются в направлении сварки (рис. 35). Вследствие дендритной ликвации примеси располагаются по границам кристаллитов, где они могут образовать легкоплавкие эвтектики и неметаллические включения. Это снижает механические свойства шва и в отдельных случаях может быть причиной образования горячих трещин.

**Электроды для ручной сварки** представляют собой стержни с нанесенными на них покрытиями. Стержень изготавливают из сварочной проволоки повышенного качества. Стандарт на стальную сварочную проволоку предусматривает 77 марок проволоки диаметром 0,2—12 мм. Сварочную проволоку всех марок в зависимости от состава разделяют на три группы: низкоуглеродистую (Св-08А, Св-08ГС и др.), легированную (Св-18ХМА; Св-10Х5М и др.) и высоколегированную (СВ-06Х19Н10МЗТ; Св-07Х25Н13 и др.). В марках проволоки «Св» означает слово «сварочная», буквы и цифры — ее марочный состав.

Сварочную проволоку используют также при автоматической дуговой сварке под флюсом, сварке плавящимся электродом в среде защитных газов и как присадочный материал при дуговой сварке неплавящимся электродом и газовой сварке. Покрытия электродов предназначены для обеспечения стабильного горения дуги, защиты расплавленного металла от воздействия воздуха и получения металла шва заданного состава и свойств. В состав покрытия электродов входят стабилизирующие, газообразующие, шлакообразующие, раскисляющие, легирующие и связующие составляющие.

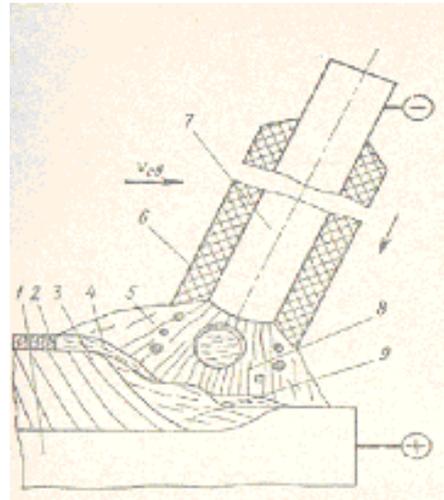


Рис.34. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

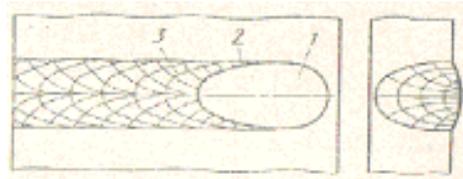


Рис.35. Столбчатые кристаллиты в сварном шве: 1 — сварочная ванна; 2 — изотерма кристаллизации шва; 3 — столбчатый кристаллит

Электроды классифицируют по назначению и виду покрытия. По назначению стальные электроды подразделяют на пять классов: для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с  $\sigma_b \leq 600$  МПа, легированных конструкционных сталей с  $\sigma_b \geq 600$  МПа, легированных жаропрочных сталей, высоколегированных сталей с особыми свойствами и для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами. Электроды для сварки конструкционных сталей делят на типы Э38, Э42, Э150. Цифры в обозначении типа электрода означают  $\sigma_b$  наплавленного металла в  $10^{-1}$  МПа. В обозначение типов электродов для сварки жаропрочных и высоколегированных сталей и наплавочных входит марочный состав наплавленного металла (Э-09МХ, Э-10Х5МФ, Э-08Х20Н9Г2Б, Э-10Х20Н70Г2М2В, Э-120Х12Г2СФ, Э-350Х26Г2Р2СТ и др.).

По виду покрытия электроды делят на электроды с кислым, рутиловым, основным и целлюлозным покрытием.

Режим ручной дуговой сварки. Основным параметром режима ручной дуговой сварки является сварочный ток (А), который выбирают в зависимости от диаметра и типа металла электрода:

$$I_{св} = kd_э,$$

где  $k$  — опытный коэффициент, равный 40—60 для электродов со стержнем из низкоуглеродистой стали и 35—40 для электродов со стержнем из высоколегированной стали, А/мм;  $d_э$  - диаметр стержня электрода, мм.

Диаметр электродов выбирают, исходя из толщины стали $\delta$ :				
$\delta$ , мм . . .	1—2	3—5	4—10	12—24 и более.
$d_э$ , мм . . .	2—3	3—4	4—5	5—6

При толщине стали до 6 мм сваривают по зазору без разделки кромок заготовки. При больших толщинах металла выполняют одностороннюю или двустороннюю разделку кромок под углом 60°. Разделка необходима для обеспечения полного провара по толщине. Металл толщиной свыше 10 мм сваривают многослойным швом. Ручная сварка удобна при выполнении коротких и криволинейных швов в любых пространственных положениях — нижнем, вертикальном, горизонтальном, потолочном (рис. 36), при наложении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы. Ручная сварка обеспечивает хорошее качество сварных швов, но обладает более низкой производительностью, например, по сравнению с автоматической дуговой сваркой под флюсом.

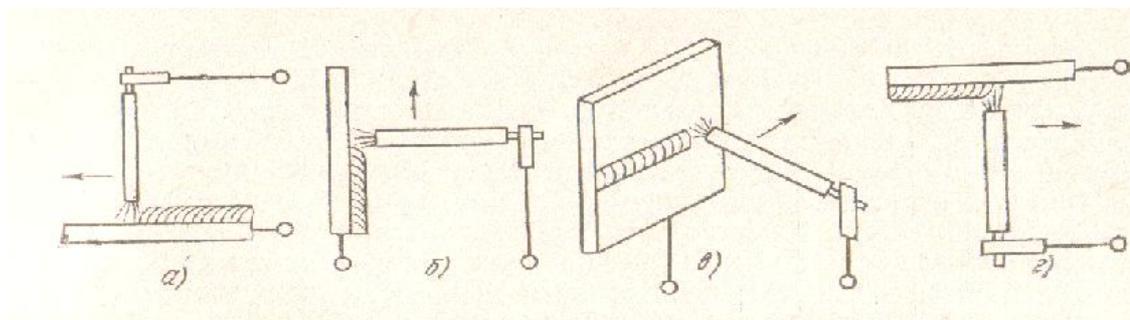
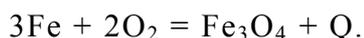


Рис.36. Возможные пространственные положения при ручной сварке: а – нижнее; б- вертикальное; в – горизонтальное; г - потолочное

Производительность процесса в основном определяется сварочным током. Однако ток при ручной сварке покрытыми электродами ограничен, так как повышение тока сверх рекомендованного значения приводит к разогреву стержня электрода, отслаиванию покрытия, сильному разбрызгиванию и угару расплавленного металла. Ручную сварку постепенно заменяют полуавтоматической в атмосфере защитных газов.

### 3. ТЕРМИЧЕСКАЯ РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

**Газокислородная резка** заключается в сжигании металла в струе кислорода и удалении этой струей образующихся оксидов. При горении железа в кислороде выделяется значительное количество теплоты по реакции



Для начала горения металл подогревают до температуры его воспламенения в кислороде (например, сталь — до 1000—1200 °С). На рис. 37 показан процесс газокислородной резки. Металл 3 нагревается в начальной точке реза подогревающим ацетилено-кислородным пламенем 2, затем направляется струя режущего кислорода 1, и нагретый металл начинает гореть. Горение металла сопровождается выделением теплоты, которая вместе с подогревающим пламенем разогревает лежащие ниже слои на всю толщину металла. Образующиеся оксиды 5 расплавляются и выдуваются струей режущего кислорода из зоны реза 4. Конфигурация перемещения струи соответствует заданной форме разреза.

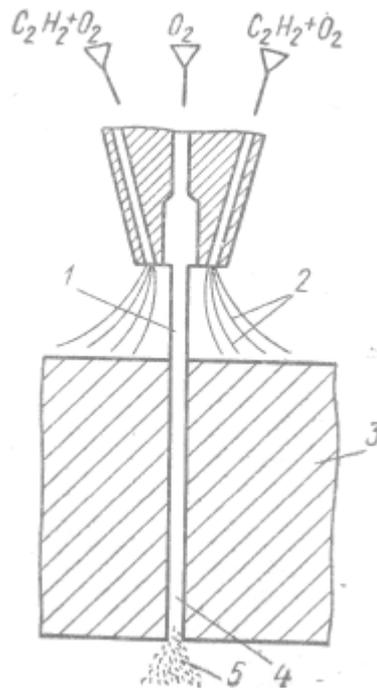


Рис.37. Схема газокислородной резки

Для обеспечения нормального процесса резки металл должен отвечать следующим требованиям: температура его плавления должна быть выше температуры горения в кислороде; температура плавления оксидов металла должна быть ниже температуры его плавления; количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла в кислородный струе, должно быть достаточным для поддержания непрерывного процесса резки; теплопроводность металла не должна быть слишком высокой, в противном случае теплота слишком интенсивно отводится в процесс резки прерывается; образующиеся оксиды должны быть достаточно жидкотекучими и легко выдвигаться вниз струей режущего кислорода.

Практически указанным требованиям отвечают железо, низкоуглеродистые и низколегированные стали.

По характеру и направленности кислородной струи различают следующие способы резки.

**Разделительная резка** — режущая струя направлена нормально к поверхности металла и прорезает его на всю толщину. Разделительной резкой раскраивают листовую сталь, разрезают профильный материал, вырезают косынки, круги, фланцы и т. п. **Поверхностная резка** — режущая струя направлена под очень малым углом к поверхности металла (почти параллельно ей) и обеспечивает грубую его строжку или обдирку. Ею удаляют поверхностные дефекты отливок.

**Резка кислородным копьем** — копьe образуется тонкостенной стальной трубкой, присоединенной к рукоятке и свободным концом прижатой к прожигаемому металлу. Резка начинается с подогрева конца заготовки сварочной дугой или горелкой. При пропускании кислорода через трубку (копье) ее конец быстро загорается и дальнейший подогрев не нужен. Копье прижимают к металлу и углубляют в него. Таким образом, выжигают отверстия круглого сечения. Кислородным копьем отрезают прибыли крупных отливок, прожигают летки в металлургических печах, отверстия и бетоне и т. п.

Резка может быть ручной и машинной. Для ручной резки применяют универсальный резак типа УР со сменными мундштуками. В резак конструктивно

объединены подогревающая часть и режущая. Подогревающая часть аналогична таковой у сварочных горелок. Режущая часть состоит из дополнительной трубки 4 для подачи режущего кислорода. В мундштуке находятся два концентрически расположенных отверстия для выхода подогревающего пламени 1 и режущей струи 2. Мундштук резака 3 образует прямой угол со стволом. При замене ацетилена другими горючими газами в резаке увеличивают сечения каналов инжектора и смесительной камеры.

Ручная резка вследствие неравномерности перемещения резака и вибрации режущей струи не обеспечивает высокого качества поверхности реза, поэтому полость реза механически обрабатывают.

Для получения реза высокого качества применяют машинную резку, которая обеспечивает равномерное перемещение резака по линии реза, строгую перпендикулярность режущей струи к разрезаемой поверхности и постоянное расстояние мундштука от поверхности металла. Машинную резку выполняют специальными автоматами и полуавтоматами с одним или несколькими резаками, при вырезке прямолинейных и криволинейных фасонных заготовок — по металлическому копиру.

Обычной кислородной резкой разрезают металлы толщиной 5—300 мм. При резке металла толщиной более 300 мм применяют специальные резаки.

При кислородно-флюсовой резке в зону резки вместе с режущим кислородом вдувают порошкообразный флюс с железной основой. При сгорании флюса в кислородной струе выделяется дополнительное количество теплоты. В то же время частицы флюса, выходя из сопла резака с большой скоростью, механически удаляют тугоплавкие оксиды. Для получения флюса к железному порошку примешивают флюсующие добавки, поэтому кроме термического и механического удаления оксидов происходит флюсование, т. е. перевод их в более легкоплавкие соединения. Кислородно-флюсовую резку используют для высокохромистых и хромоникелевых сталей, чугунов, медных сплавов. Кислородно-флюсовую резку выполняют с помощью специальной аппаратуры: флюсопитателя и кислородного резака с приспособлениями для подачи флюса.

При воздушно-дуговой резке металл расплавляется дугой неплавящимся графитовым электродом, а расплавленный металл выдувается из полости реза потоком сжатого воздуха, подаваемого параллельно электроду. Воздушно-дуговую резку можно выполнять во всех пространственных положениях. Основная область ее применения — поверхностная обработка металла (различные углубления в виде канавок, снятие лишнего или дефектного металла и т. п.). Применяют разделительную воздушно-дуговую резку. Для воздушно-дуговой резки используют специальные резаки, представляющие собой держатель электродов, головка которого имеет сопла для подачи воздуха.

Плазменно-дуговую резку выполняют плазменной дугой и плазменной струей. При резке плазменной дугой металл выплавляется из полости реза направленным потоком плазмы, совпадающим с токоведущим столбом создающей его дуги прямого действия. Этим способом разрезают толстые листы алюминия и его сплавов (до 80—120 мм), высоколегированную сталь и медные сплавы.

Плазменной струей, полученной в столбе дугового разряда независимой дуги, разрезают неэлектропроводные материалы (например, керамику), тонкие стальные листы, алюминиевые и медные сплавы, жаропрочные сплавы и т. д. При плазменной резке используют аргон, его смесь с водородом, воздух и другие газы. Скорость резки плазменной дугой при прочих равных условиях выше скорости резки плазменной струей. Плазменную резку выполняют специальным резаком, называемым плазмотроном.

## ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКАЯ И МЕХАНИЧЕСКАЯ СВАРКА

### 4. КОНТАКТНАЯ СВАРКА

Контактная сварка относится к видам сварки с кратковременным нагревом места соединения без оплавления или с оплавлением и осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов - пластическая деформация в ходе которой формируется сварное соединение.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, причем максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта (рис. 38). Количество выделяемой теплоты определяется законом Джоуля — Ленца:

$$Q \approx I^2 R t,$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяемое в сварочном контуре, Дж;  $R$  - полное электросопротивление сварочного контура, Ом;  $I$  — сварочный ток, А;  $t$  — время протекания тока, с.

Полное электросопротивление сварочного контура  $R$  состоит из электросопротивлений выступающих концов  $L$ , свариваемых заготовок  $R_{заг}$ , сварочного контакта  $R_k$  и электросопротивления между электродами и заготовками  $R_{эл}$ , т. е.

$$R \approx R_{заг} + R_k + R_{эл}$$

Электросопротивление  $R_k$  имеет наибольшее значение, так как из-за неровностей поверхности стыка даже после тщательной обработки заготовки соприкасаются только в отдельных точках (рис. 39). В связи с этим действительное сечение металла, через которое проходит ток, резко уменьшается. Кроме того, на поверхности свариваемого металла имеются пленки оксидов и загрязнения с малой электропроводимостью, которые также увеличивают электросопротивление контакта. В результате в точках контакта металл нагревается до термопластического состояния или до оплавления. При непрерывном сдавливании нагретых заготовок образуются новые точки соприкосновения, пока не произойдет полное сближение до межатомных расстояний, т. е. сварка поверхностей.

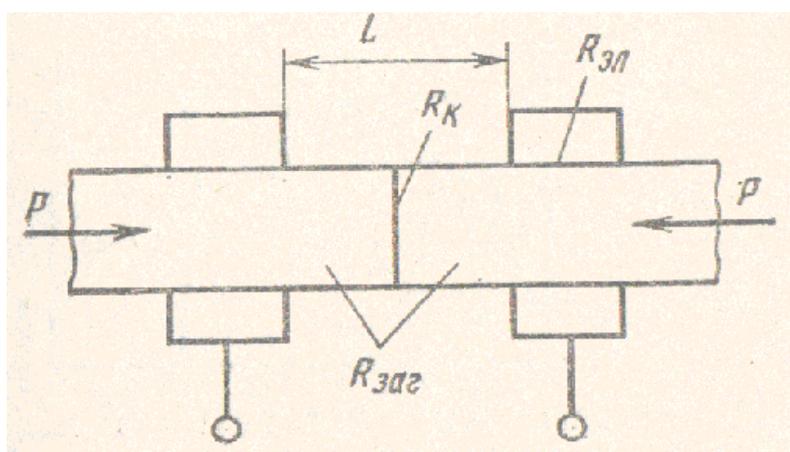


Рис. 38 Схема контактной сварки

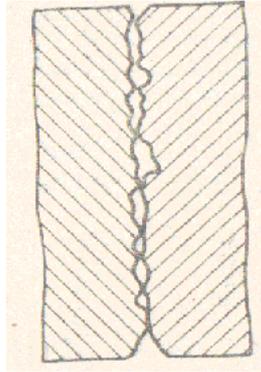


Рис. 39 Физический контакт

Контактную сварку классифицируют по типу сварного соединения, определяющего вид сварочной машины, и по роду тока, питающего сварочный трансформатор. По типу сварного соединения различают сварку стыковую, точечную и шовную.

### 5. СТЫКОВАЯ СВАРКА

Стыковая сварка — разновидность контактной сварки, при которой заготовки свариваются по всей поверхности соприкосновения. Свариваемые заготовки закрепляют в зажимах стыковой машины (рис. 40). Зажим 3 установлен на подвижной плите 4, перемещающейся в направляющих, зажим 2 укреплен на неподвижной плите 1. Сварочный трансформатор соединен с плитами гибкими шинами и питается от сети через включающее устройство. Плиты перемещаются, и заготовки сжимаются под действием усилия  $P$ , развиваемого механизмом осадки.

Стыковую сварку с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой называют сваркой сопротивлением а при разогреве торцов заготовок до оплавления и последующей осадкой — сваркой оплавлением. Для правильного формирования сварного соединения необходимо, чтобы процесс протекал в определенной последовательности. Совместное графическое изображение тока и давления, изменяющихся в процессе сварки, называют циклограммой с в а р к и .

Циклограмма контактной стыковой *сварки сопротивлением* представлена на рис. 41. Перед сваркой заготовки должны быть очищены от оксидных пленок и торцы их

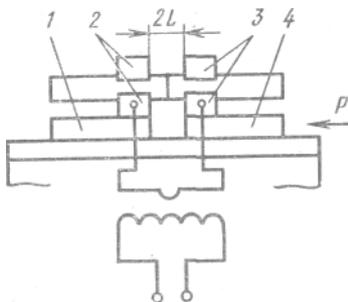


Рис. 40. Схема контактной стыковой сварки

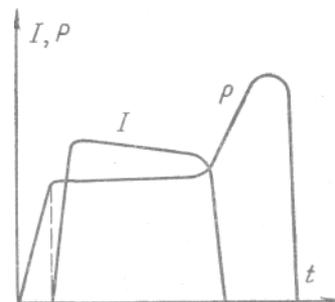
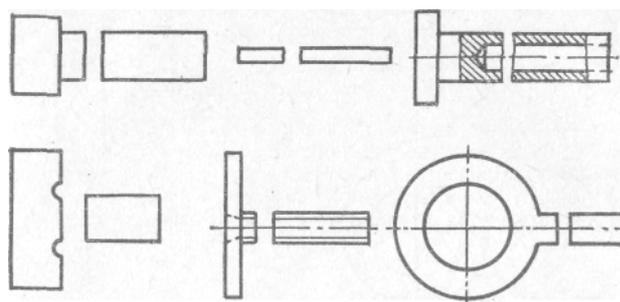


Рис. 41. Циклограмма контактной стыковой сварки сопротивлением

плотно пригнаны друг к другу. Для подгонки необходима механическая обработка торцов. Заготовки сдавливаются усилием  $P$ , затем включается ток, металл разогревается до пластического состояния, затем заготовки снова сдавливают (осаживают). В месте сварки образуется усиление металла.

Параметрами режима контактной стыковой сварки сопротивлением являются плотность тока  $j$ ,  $A/mm^2$ , удельное усилие сжатия торцов заготовки  $p$ , Па, и время протекания тока  $t$ , с, которое определяют косвенно через величину осадки, зависящую от установочной длины  $L$ . Установочной длиной  $L$  называют расстояние от горца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки. Длина  $L$  зависит от теплофизических свойств металла, конфигурации стыка и размеров заготовки.

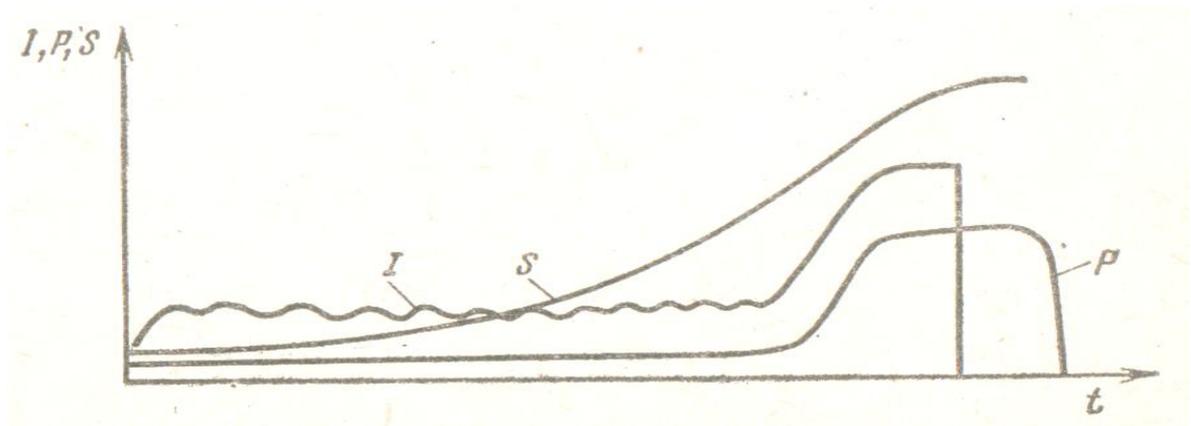
Типы сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой сопротивлением, представлены на рис. 42.



**Рис. 42. Тип сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой**

Этим способом соединяют заготовки малого сечения (до  $100\text{ мм}^2$ ), так как при больших сечениях нагрев будет неравномерным. Сечения соединяемых заготовок должны быть одинаковыми по форме с простым периметром (круг, квадрат, прямоугольник с малым отношением сторон). Сваркой сопротивлением можно сваривать низкоуглеродистые, низколегированные конструкционные стали, алюминиевые и медные сплавы.

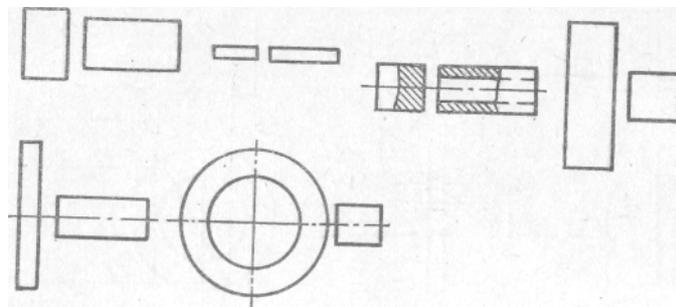
Стыковая *сварка оплавлением* имеет две разновидности: непрерывным и прерывистым оплавлением. При *н е п р е р ы в н о м* оплавлении между заготовками, установленными в электродах машины, оставляют зазор, подключают ток и равномерно сближают заготовки. Соприкосновение происходит вначале по отдельным небольшим площадкам, через которые протекает ток высокой плотности. При этом под действием магнитного поля расплавленный и кипящий металл выбрасывается наружу. После достижения равномерного оплавления всей поверхности стыка заготовки осаживают. Циклограмма сварки непрерывным оплавлением показана на рис. 43.



При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под током, приводят их в кратковременное соприкосновение и вновь разъединяют на небольшое расстояние. Быстро повторяя одно за другим сближения и разъединения, выполняют оплавление всего сечения. Затем выключают ток и сдавливают заготовку. Под давлением часть расплавленного металла вместе с оксидами выдавливается из зоны сварки.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением. В процессе оплавления выравниваются все неровности стыка, а оксиды и загрязнения удаляются, поэтому не требуется особой подготовки места соединения. Можно сваривать заготовки с сечением сложной формы, а также заготовки с различными сечениями, разнородные металлы (быстрорежущую и углеродистую стали, медь и алюминий и т. д.).

Типы сварных соединений, выполняемых стыковой сваркой оплавлением, приведены на рис. 44.



**Рис. 44. Типы сварных соединений стыковой сварки оплавлением**

Наиболее распространенными изделиями, изготавливаемыми стыковой сваркой, служат элементы трубчатых конструкций, колеса и кольца, инструмент, рельсы, железобетонная арматура.

## 6. ТОЧЕЧЕНАЯ СВАРКА

Точечная сварка — разновидность контактной сварки, при которой заготовки соединяются в отдельных точках. При точечной сварке заготовки собирают внахлестку и зажимают с усилием  $P$  между двумя электродами, подводящими ток к месту сварки (рис. 45). Соприкасающиеся с медными электродами поверхности свариваемых заготовок нагреваются медленнее их внутренних слоев. Нагрев продолжают до пластического состояния внешних слоев и до расплавления внутренних слоев. Затем выключают ток и снимают давление. В результате образуется литая сварная точка.

Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам может быть двусторонней и односторонней. При двусторонней сварке (рис. 45, а) две (или больше) заготовки 1 сжимают между электродами 2 точечной машины. При односторонней сварке (рис. 45, б) ток распределяется между верхним и нижним листами 3 и 4, причем нагрев осуществляется частью тока, протекающего через нижний лист. Для увеличения тока, проходящего через нижний лист, предусмотрена медная подкладка 5. Односторонней сваркой можно соединять заготовки одновременно двумя точками. Параметры режима точечной сварки: удельное усилие сжатия, МПа; плотность тока  $j$ , А/мм<sup>2</sup>; время протекания тока  $t$ , с.

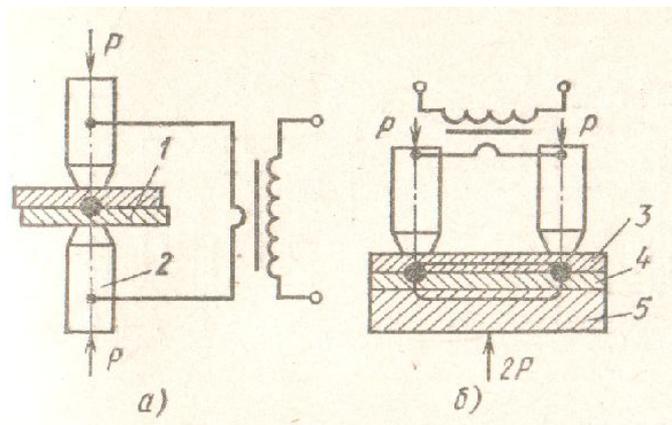


Рис. 45. Схема контактной точечной сварки: а – двусторонней; б – односторонней.

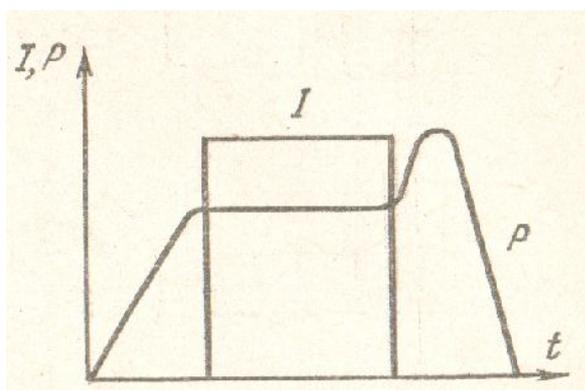


Рис. 46. Циклограмма контактной точечной сварки

На рис. 46 показана одна из применяемых циклограмм точечной сварки. Весь цикл сварки состоит из четырех стадий: сжатие свариваемых заготовок между электродами; включение тока и разогрев места контакта до температуры плавления, сопровождающийся образованием литого ядра точки; выключение тока и увеличение сжатия для улучшения структуры сварной точки; снятие усилия с электродов. Перед сваркой место соединения очищают от оксидных пленок (наждачным кругом или травлением).

Типы сварных соединений, выполняемых точечной сваркой, показаны на рис. 47. Точечной сваркой изготовляют штамповарные заготовки при соединении отдельных штампованных элементов сварными точками. В этом случае упрощается технология изготовления сварных узлов и повышается производительность. Точечную сварку применяют для изготовления изделий из низкоуглеродистых, углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей, алюминиевых и медных сплавов. Толщина свариваемых металлов составляет 0,5—5 мм.

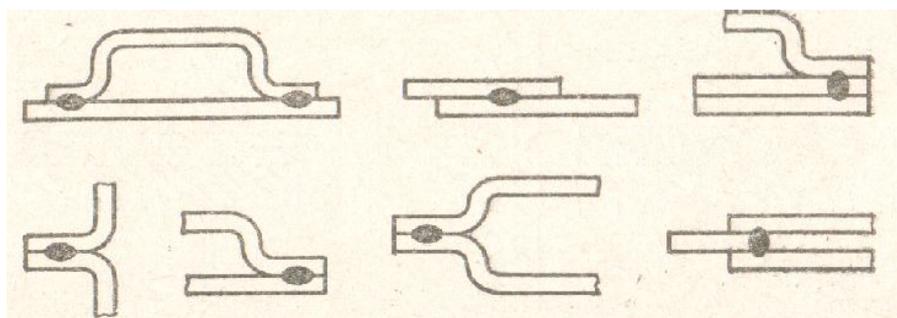


Рис. 47. Типы сварных соединений точечной сварки

Многоточечная контактная сварка — разновидность контактной сварки, когда за один цикл свариваются несколько точек. Многоточечную сварку выполняют по принципу односторонней точечной сварки. Многоточечные машины могут иметь от одной пары до 100 пар электродов, соответственно можно сваривать 2—200 точек одновременно. Многоточечной сваркой сваривают одновременно и последовательно. В первом случае все электроды сразу прижимают к изделию, что обеспечивает меньшее коробление и большую точность сборки. Ток распределяется между прижатыми электродами специальным токораспределителем, включающим электроды попарно (рис. 48, а). Во втором случае пары электродов опускают поочередно или одновременно, а ток подключают поочередно к каждой паре электродов от сварочного трансформатора (рис. 48, б и в). Многоточечную сварку применяют в основном в массовом производстве, где требуется большое число сварных точек на заготовке.

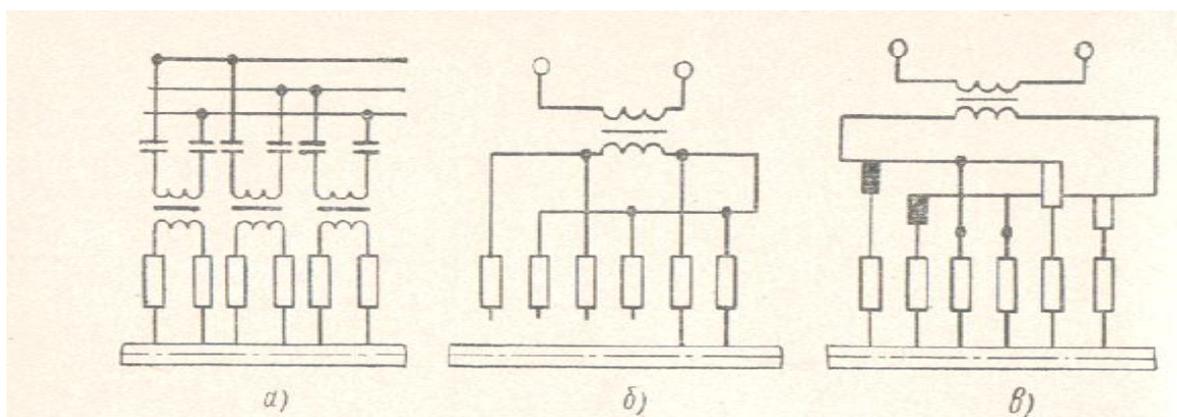


Рис. 48. Схемы односторонней многоточечной сварки

## 7. ШОВНАЯ СВАРКА

Шовная сварка — разновидность контактной сварки, при которой между свариваемыми заготовками образуется прочное и плотное соединение. Электроды выполняют в виде плоских роликов, между которыми пропускают свариваемые заготовки.

В процессе шовной сварки листовые заготовки 1 соединяют внахлестку, зажимают между электродами 2 (рис.49) и пропускают ток. При движении роликов по заготовкам образуются перекрывающиеся друг друга сварные точки, в результате чего получается сплошной герметичный шов. Шовную сварку, так же как и точечную, можно выполнить при двустороннем а и одностороннем б расположениях электродов.

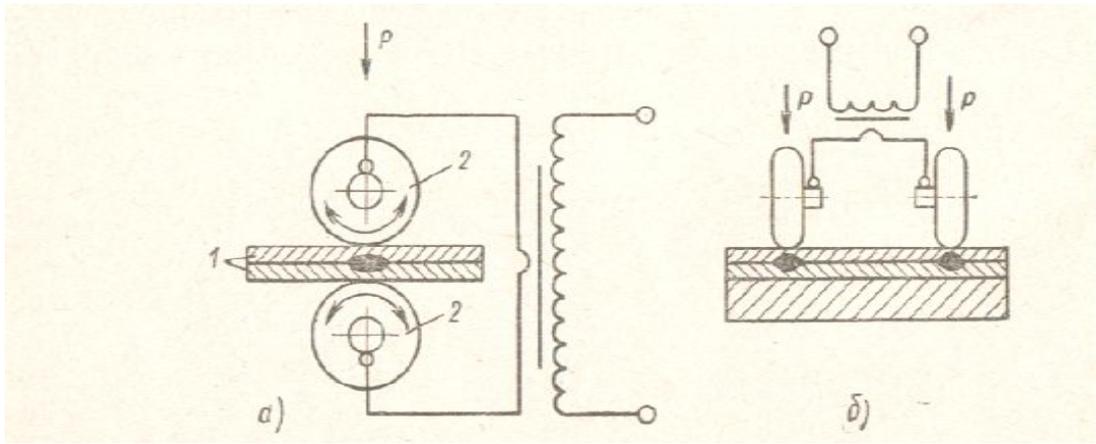


Рис. 49. Схема шовной сварки

Циклограммы процесса шовной сварки бывают с непрерывным включением тока (рис. 50, а) и с прерывистым (рис. 50, б). Последовательность этапов технологических операции в начале и при завершении сварки шва такая же, как и при точечной.

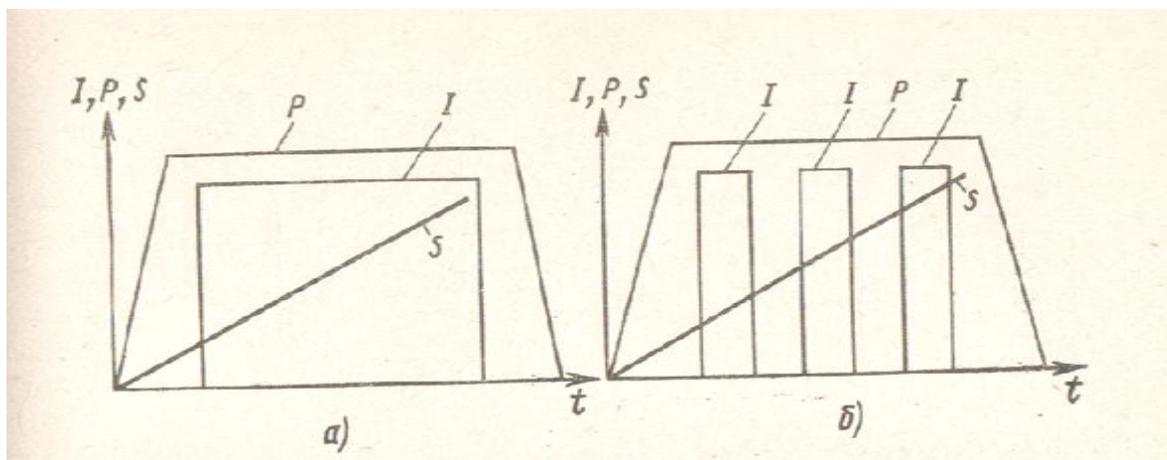


Рис.50. Циклы шовной сварки при включении тока:

а – непрерывном; и – прерывистом; P – усилие сжатия; S – перемещение роликов; I – сварочный ток; t – время.

Циклограмму с непрерывным включением тока применяют для сварки коротких швов и металлов и сплавов, не склонных к росту зерна и не претерпевающих заметных структурных превращений при перегреве околошовной зоны (низкоуглеродистые и низколегированные стали). Циклограмма с прерывистым включением тока обеспечивает стабильность процесса и высокое качество сварного соединения при малой зоне термического влияния. Ее используют при сварке длинных швов на заготовках из высоколегированных сталей и алюминиевых сплавов.

Шовную сварку применяют в массовом производстве при изготовлении различных сосудов. Толщина свариваемых листов составляет 0,3—3 мм. Шовной сваркой выполняют те же типы сварных соединений, что и точечной, но используют для получения герметичного шва.

## 8. СВАРКА ТРЕНИЕМ

Сварка трением относится к процессам, в которых используются взаимное перемещение свариваемых поверхностей, давление и кратковременный нагрев. Сварка трением происходит в твердом состоянии при взаимном скольжении двух заготовок,

сжатых силой  $P$ . Работа, совершаемая силами трения при скольжении, превращается в теплоту, что приводит к интенсивному нагреву трущихся поверхностей. Трение поверхностей осуществляется вращением или возвратно-поступательным перемещением сжатых заготовок (рис. 51). В результате нагрева и сжатия происходит совместная пластическая деформация. Сварное соединение образуется вследствие возникновения металлических связей между чистыми (ювенильными) контактирующими поверхностями свариваемых заготовок. Оксидные пленки на соединяемых поверхностях разрушаются в результате трения и удаляются за счет пластической деформации в радиальных направлениях.

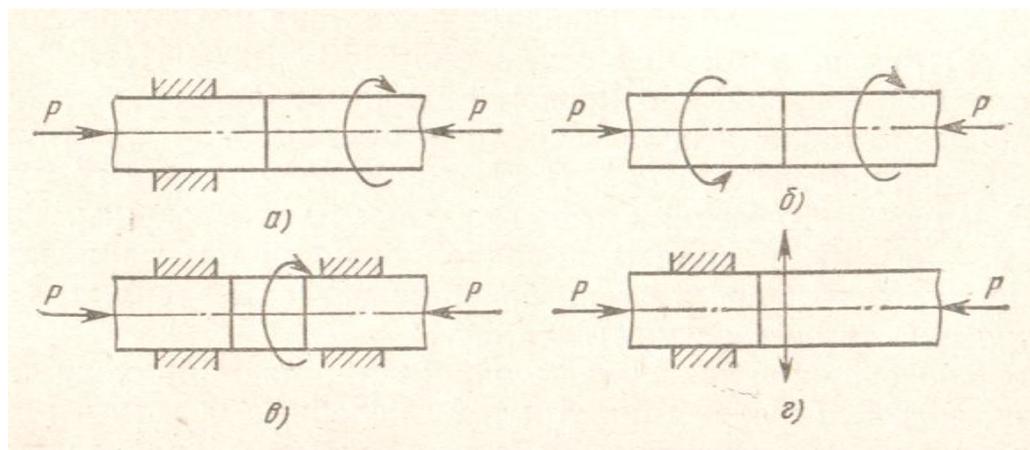


Рис. 51. схема сварки трением:

а – с вращением одной детали; б – с вращением обеих деталей; в – с вращающейся вставкой ; г – с возвратно-поступательным движением одной детали

Основные параметры сварки трением: скорость относительного перемещения свариваемых поверхностей, продолжительность нагрева, удельное усилие, пластическая деформация, т. е. осадка. Требуемый для сварки нагрев обусловлен скоростью вращения и осевым усилием. Для получения качественного соединения в конце процесса необходимо быстрое прекращение движения и приложение повышенного давления. Параметры режима сварки трением зависят от свойств свариваемого металла, площади сечения и конфигурации изделия. Сваркой трением соединяют однородные и разнородные металлы и сплавы с различными свойствами, например медь со сталью, алюминий с титаном и др. На рис. 52 показаны основные типы соединений, выполняемых сваркой трением. Соединение получают с достаточно высокими механическими свойствами. В промышленности сварку трением применяют при изготовлении режущего инструмента, различных валов, штоков с поршнями, пуансонов и т. п. При сварке трением по сравнению с контактной стыковой сваркой снижаются затраты энергии (в 5—10 раз) и требуемые мощности.

Для сварки трением выпускают серийные машины МСТ-23, МСТ-35 и МСТ-41 мощностью 10, 20 и 40 кВт; в виде исключения после соответствующей реконструкции используют обычные, металлорежущие станки (токарные, фрезерные, сверлильные).

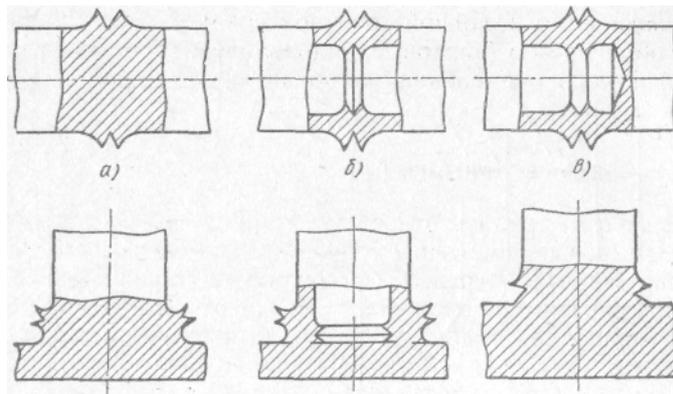


Рис. 52. Типы сварных соединений сварки трением:  
*a* — сварка стержней встык; *б* — сварка труб встык; *в* — сварка встык стержня с трубой; *г* — приварка стержня к листу; *д* — приварка трубы к листу; *е* — приварка стержня к массивной детали

### 9. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА

Ультразвуковая сварка относится к процессам, в которых используют давление, нагрев и взаимное трение свариваемых поверхностей. Силы трения возникают в результате действия на заготовки, сжатые осевой силой  $P$ , механических колебаний с ультразвуковой частотой. Для получения механических колебаний высокой частоты используют магнестрикционный эффект, основанный на изменении размеров некоторых материалов под действием переменного магнитного поля. Изменения размеров магнестрикционных материалов очень незначительны, поэтому для увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний и для передачи механических колебаний к месту сварки используют волноводы, в большинстве случаев сужающейся формы.

При ультразвуковой сварке (рис. 53) свариваемые заготовки 5 размещают на опоре 6. Наконечник 4 рабочего инструмента 3 соединен с магнестрикционным преобразователем 1 через трансформатор 2 продольных упругих колебаний, представляющих собой вместе с рабочим инструментом волновод. Нормальная сжимающая сила  $P$  создается моментом  $M$  в узле колебаний. В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки.

Тонкие поверхностные слои металла нагреваются, металл в этих слоях немного размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная связь. Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а при сварке алюминия  $200\text{—}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Это особенно важно при сварке химически активных металлов.

Ультразвуковой сваркой можно получать точечные и шовные соединения внахлестку, а также соединения по замкнутому контуру. При сварке по контуру, например, по кольцу, в волновод вставляют конический штифт, имеющий форму трубки. При равномерном поджатии заготовок к свариваемому штифту получают герметичное соединение по всему контуру (рис. 54). Ультразвуковой сваркой можно сваривать заготовки толщиной до 1 мм и ультратонкие заготовки толщиной до 0,001 мм, а также приваривать тонкие листы и фольгу к заготовкам неограниченной толщины. Снижение требований к качеству свариваемых поверхностей позволяет сваривать плакированные и оксидированные поверхности и металлические изделия, покрытые различными изоляционными пленками.

Этим способом можно сваривать металлы в однородных и разнородных сочетаниях, например алюминий с медью, медь со сталью и т. п. Ультразвуковым способом сваривают и пластмассы, однако в отличие от сварки металлов к заготовкам подводятся поперечные ультразвуковые колебания.

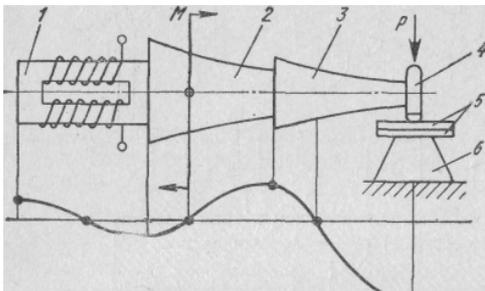


Рис. 53, Схема ультразвуковой сварки

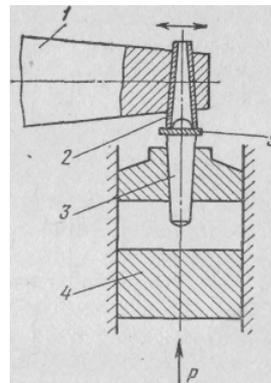


Рис. 54.

Ультразвуковая

сварка по контуру:  
 1 — волновод; 2 — сменный полый штифт; 4 — прижимная опора;  
 5 — свариваемое изделие

В нашей стране выпускают ультразвуковые машины типа УЗСМ-1 и УЗСМ-2.

Ультразвуковую сварку применяют в приборостроении, радиоэлектронике, авиационной промышленности и других отраслях.

## Лекция 9 ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

- [1. Классификация и технологические свойства пластмасс](#)
- [2. Способы формообразования деталей из пластмасс в вязкотекучем состоянии](#)
- [3. Резины. Свойства и область применения резиновых деталей](#)
- [4. Способы формообразования резиновых деталей](#)

### Классификация и технологические свойства пластмасс

Пластическими массами (пластмассами) называют материалы, основу которых составляют природные или синтетические высокомолекулярные соединения. Высокомолекулярные соединения состоят из большого числа низкомолекулярных соединений (мономеров), связанных между собой силами главных валентных связей. Соединения, большие молекулы (макромолекулы) которых состоят из одинаковых структурных звеньев, называют полимерами. Макромолекулы полимеров могут иметь линейную форму, разветвленную и пространственную (сшитую).

Линейные макромолекулы имеют форму цепей, в которых атомы соединены между собой ковалентными связями. Отдельные цепи связаны межмолекулярными силами, в значительной степени определяющими свойства полимера. Наличие в цепях разветвлений приводит к ослаблению межмолекулярных сил и тем самым к снижению температуры размягчения полимера. Пространственные структуры получаются „в

результате химической связи (сшивки) отдельных цепей полимеров либо в результате поликонденсации или полимеризации. Большое значение для свойств «сшитого» полимера имеет частота поперечных связей. Если эти связи располагаются сравнительно редко, то образуется полимер с сетчатой структурой.

Полимеры с линейной структурой молекул хорошо растворяются, так как молекулы растворителя могут внедряться в промежутки между макромолекулами и ослаблять межмолекулярные силы. Полимеры с сетчатой структурой нерастворимы, они лишь набухают. При частом расположении связей полимер становится практически нерастворимым и неплавким.

Полимеры в зависимости от расположения и взаимосвязи макромолекул могут находиться в аморфном (с неупорядоченным расположением молекул) или кристаллическом (с упорядоченным расположением молекул) состоянии. При переходе полимеров из аморфного состояния в кристаллическое повышается их прочность и теплостойкость. Значительное влияние на полимеры оказывает воздействие на них теплоты. В зависимости от поведения при повышенных температурах полимеры подразделяют на термопластичные (термопласты) и терморективные (реактопласты).

*Термопласты* при нагреве размягчаются и расплавляются, затем вновь затвердевают при охлаждении. Переход термопластов из одного физического состояния в другое может осуществляться неоднократно без изменения химического состава. Термопласты имеют линейную или разветвленную структуру молекул.

*Реактопласты* при нагреве превращаются в вязкотекучее состояние и в результате химической реакции переходят в твердое, необратимое состояние. Отвержденные реактопласты нельзя повторным нагревом вновь перевести в вязкотекучее состояние. В процессе полимеризации под действием указанных факторов линейная структура полимера превращается в пространственную. Отдельные виды терморективных смол (эпоксидные, полиэфирные) при введении в них отвердителя отверждаются при нормальной температуре.

Поведение термопластов и реактопластов под действием теплоты имеет решающее значение при технологическом процессе переработки пластмасс.

В зависимости от числа компонентов все пластмассы подразделяются на простые и композиционные. Простые (полиэтилен, полистирол и т. д.) состоят из одного компонента — синтетической смолы; композиционные (фенопласты, аминопласты и др.) — из нескольких составляющих, каждая из которых выполняет определенную функциональную роль. В композиционных пластмассах смола является связующим для других составляющих. Свойства связующего во многом определяют физико-механические и технологические свойства пластмассы. Содержание связующего в пластмассах достигает 30—70 %.

Помимо связующего в состав композиционных пластмасс входят следующие составляющие: 1) наполнители различного происхождения для повышения механической прочности, теплостойкости, уменьшения усадки и снижения стоимости композиции; органические наполнители — древесная мука, хлопковые очесы, целлюлоза, хлопчатобумажная ткань, бумага, древесный шпон и др.; неорганические — графит, асбест, кварц, стекловолокно, стеклоткань и др.; 2) пластификаторы (дибутилфталат, касторовое масло и др.), увеличивающие эластичность, текучесть, гибкость и уменьшающие хрупкость пластмасс; 3) смазочные вещества (стеарин, олеиновая кислота и др.), увеличивающие текучесть, уменьшающие трение между частицами композиций, устраняющие прилипание к формообразующим поверхностям пресс-форм, 4) катализаторы (известь, магнезия и др.), ускоряющие процесс отверждения материала; 5) красители (сурик, нигрозин и др.), придающие нужный цвет изготавливаемым деталям.

При изготовлении газонаполненных пластмасс (поро- и пено-пластов) в полимеры вводят газообразователи — вещества, которые различаются при нагреве с выделением газообразных продуктов.

Конструкционные пластмассы в зависимости от показателей механической прочности подразделяют на три основные группы: низкой, средней и высокой прочности.

Основными технологическими свойствами пластмасс являются текучесть, усадка, скорость отверждения (реактопластов) и термостабильность (термопластов).

*Текучесть* — способность материалов заполнять форму при определенных температуре и давлении — зависит от вида и содержания в материале смолы, наполнителя, пластификатора, смазочного материала, а также от конструктивных особенностей пресс-формы. Для не наполненных термопластов за показатель текучести принимают «индекс расплава» — количество материала, выдавливаемого через сопло диаметром 2,095 мм при определенных температуре и давлении в единицу времени,

*Под усадкой* понимают абсолютное или относительное уменьшение размеров детали по сравнению с размером полости пресс-формы. В абсолютной величине усадки наибольшую долю составляет разность между температурными коэффициентами материала пресс-формы и материала детали. Величина усадки зависит от физико-химических свойств связующей смолы, количества и природы наполнителя, содержания в нем влаги и летучих веществ, температурного режима переработки и других факторов. Усадку необходимо учитывать при проектировании пресс-формы.

Продолжительность процесса перехода реактопластов из высокоэластичного или вязкотекучего состояния в состояние полной полимеризации определяет *скорость отверждения*. Скорость отверждения (полимеризации) зависит от свойств связующего (термореактивной смолы) и температуры переработки. Низкая скорость отверждения увеличивает время выдержки материала в пресс-форме под давлением и снижает производительность процесса. Повышенная скорость отверждения может вызвать преждевременную полимеризацию материала в пресс-форме, в результате чего отдельные участки формующей полости не будут заполнены пресс-материалом.

Под *термостабильностью* понимают время, в течение которого термопласт выдерживает определенную температуру без разложения. Высокую термостабильность имеют полиэтилен, полипропилен, полистирол и др. Переработка их в детали сравнительно проста. Для материалов с низкой термостабильностью (полиформальдегид, поливинилхлорид и др.) необходимо предусматривать меры, предотвращающие возможность разложения их в процессе переработки: например, увеличение сечения литников, диаметра цилиндра и т. д.

В зависимости от физического состояния, технологических свойств и других факторов все способы переработки пластмасс в детали наиболее целесообразно разбить на следующие основные группы: переработка в вязкотекучем состоянии (прессованием, литьем под давлением, выдавливанием и др.); переработка в высокоэластичном состоянии (пневмо- и вакуум-формовкой, штамповкой и др.); получение деталей из жидких пластмасс различными способами формообразования; переработка в твердом состоянии разделительной штамповкой и обработкой резанием; получение неразъемных соединений сваркой, склеиванием и др.; различные способы переработки (спекание, напыление и др.).

### **Способы формообразования деталей из пластмасс в вязкотекучем состоянии**

Большинство пластмасс перерабатывают в детали в вязко-текучем состоянии способами прессования, литья, выдавливания. Прямое (компрессионное) прессование — один из основных способов переработки реактопластов в детали. В полость матрицы пресс-формы 3 (рис. 55, а) загружают предварительно таблетизированный или порошкообразный материал 2. При замыкании пресс-формы под действием усилия пресса пуансон 1 создает давление на прессуемый материал (рис. 55, б). Под действием этого давления и теплоты от нагретой пресс-формы материал размягчается и заполняет формообразующую полость пресс-формы. После определенной выдержки, необходимой

для отверждения материала, пресс-форма раскрывается и с помощью выталкивателя 5 из нее извлекается готовая деталь 4 (рис. 55, в).

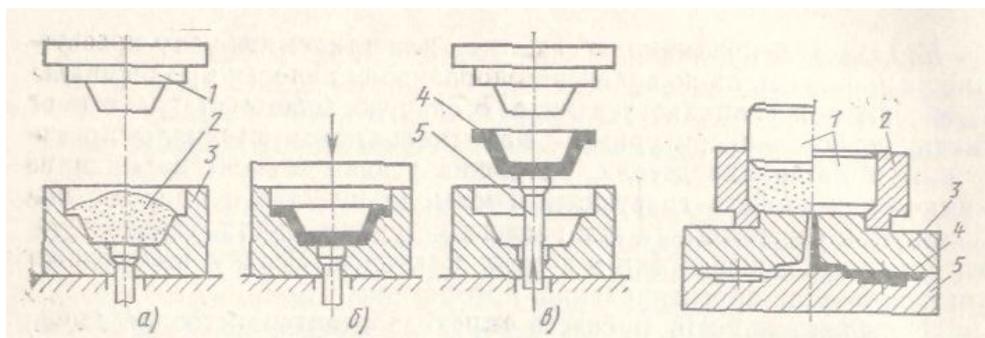


Рис. 55. Схема прямого прессования      Рис. 56. Схема литьевого прессования

Процесс отверждения сопровождается выделением летучих составляющих композиционного материала и паров влаги. Для удаления газов в процессе прессования выполняют так называемую подпрессовку, заключающуюся в переключении гидропресса после определенной выдержки на обратный ход, в подъеме пуансона на 5—10 мм и выдержке его в таком положении в течение 2—3 с. После этого пресс-форма снова смыкается. При прессовании крупных толстостенных деталей из материалов с повышенной влажностью подпрессовку проводят дважды.

Температура и давление прессования зависят от вида перерабатываемого материала, формы и размеров изготавливаемой детали. Время выдержки под прессом зависит от скорости отверждения и толщины прессуемой детали. Для большинства реактопластов время выдержки выбирают из расчета 0,5—2 мин на 1 мм толщины стенки. Технологическое время может быть сокращено вследствие предварительного подогрева материала в специальных шкафах. Давление зависит от текучести пресс-материала, скорости отверждения, толщины прессуемых деталей и других факторов.

Нагрев пресс-формы осуществляют обычно электронагревателем. Рабочую температуру в процессе прессования поддерживают постоянной с помощью автоматически действующих приборов. Для загрузки в полость пресс-формы определенного количества пресс-материала используют объемную дозировку или дозировку по массе. Применяют также поштучную дозировку (загружают определенное число таблеток). Прессуют на гидравлических прессах. При выпуске большого числа деталей используют прессы, работающие по автоматическому циклу.

Прямым прессованием получают детали средней сложности и небольших размеров из термореактивных композиционных материалов с порошкообразным и волокнистым наполнителями.

**Литьевое** прессование отличается от прямого тем, что прессуемый материал загружают не в полость пресс-формы, а в специальную загрузочную камеру 2 (рис. 56). Под действием теплоты от пресс-формы прессуемый материал переходит в вязкотекучее состояние и под давлением со стороны пуансона 1 выжимается из загрузочной камеры 2 в полость матрицы пресс-формы через специальное отверстие в литниковой плите 3. После отверждения материала пресс-форму разъединяют и готовые детали 4 извлекают из матрицы 5.

Литьевое прессование позволяет получать детали сложной формы, с глубокими отверстиями, в том числе резьбовыми. Возможна установка сложной и тонкой арматуры. В процессе перетекания через литниковое отверстие пресс-материал прогревается одинаково, что обеспечивает более равномерную структуру прессуемой детали. При литьевом прессовании отпадает необходимость в подпрессовках, так как образующиеся газы могут выходить в зазор между литниковой плитой и матрицей.

Недостатком литьевого прессования является повышенный расход пресс-материала, так как в загрузочной камере и литниковых каналах остается часть отвержденного и неиспользуемого в дальнейшем пресс-материала. Кроме того, пресс-формы для литьевого прессования сложнее по конструкции и дороже пресс-форм для прямого прессования.

Для прессования деталей применяют одно- и многогнездные пресс-формы. Многогнездные пресс-формы используют для получения деталей простой формы и небольших размеров.

Форма и размеры прессуемых деталей зависят от формообразующих элементов пресс-формы, к которым предъявляют высокие требования по точности и качеству поверхности. Формообразующие детали пресс-форм изготавливают из высоколегированных или инструментальных сталей с последующей закалкой до высокой твердости. Для повышения износостойкости и улучшения внешнего вида прессуемых деталей формообразующие элементы пресс-форм полируют и хромируют.

Листы и плиты из терморезистивных композиционных материалов прессуют пакетами на прессах. Заготовки материала (из хлопчатобумажной ткани, стеклоткани и т. д.) пропитывают смолой и укладывают между горячими плитами прессов. Число уложенных слоев ткани определяет толщину листов и плит. Размеры прессуемых деталей ограничиваются мощностью гидравлического пресса. Трубы, прутки круглого и фасонного сечения получают прессованием реакто-пластов через калиброванное отверстие пресс-формы. Процесс прессования характеризуется низкой производительностью и сложностями технологического характера.

**Литье под давлением** — высокопроизводительный и эффективный способ массового производства деталей из термопластов. Перерабатываемый материал из загрузочного бункера 8 (рис. 57) подается дозатором 9 в рабочий цилиндр 6 с электронагревателем 4. При движении поршня 7 определенная доза материала поступает в зону обогрева, а уже расплавленный материал через сопло 3 и литниковый канал — в полость пресс-формы 1, в которой формируется изготавливаемая деталь 2. В рабочем (нагревательном) цилиндре на пути потока расплава установлен рассекатель 5, который заставляет расплав протекать тонким слоем у стенок цилиндра. Это ускоряет прогрев и обеспечивает более равномерную температуру расплава. При движении поршня в исходное положение с помощью дозатора 9 очередная порция материала попадает в рабочий цилиндр. Для предотвращения перегрева выше 50—70 °С в процессе литья пресс-форма охлаждается проточной водой. После охлаждения материала пресс-форма размыкается, и готовая деталь с помощью выталкивателей извлекается из нее.

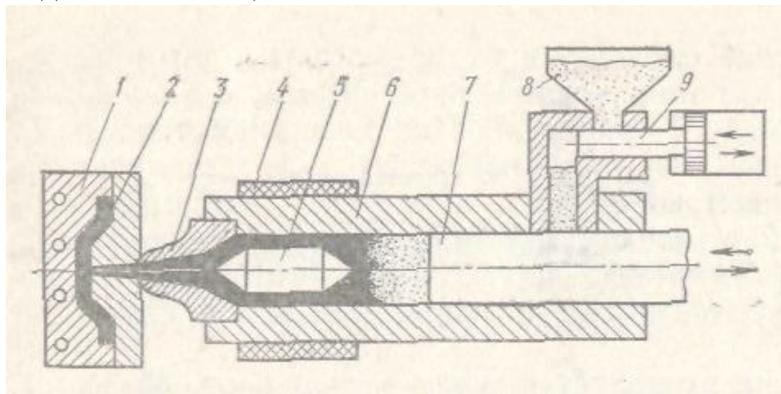


Рис. 57. Схема литья под давлением

**Литьем** под давлением получают детали сложной конфигурации с различными толщинами стенок, ребрами жесткости, с резьбами и т. д. Применяют литейные машины, позволяющие механизировать и автоматизировать процесс получения деталей, Производительность процесса литья в 20—40 раз выше производительности прессования,

поэтому литье под давлением является одним из основных способов переработки пластических масс в детали. Качество отливаемых деталей зависит от температур пресс-формы и расплава, давления прессования, продолжительности выдержки под давлением и т. д.

Центробежное литье применяют для получения крупногабаритных и толстостенных деталей из термопластов (кольца, шкивы, зубчатые колеса и т. п.). Центробежные силы плотно прижимают залитый материал к внутренней поверхности формы. После охлаждения готовую деталь извлекают из формы и заливают новую порцию расплавленного материала.

**Выдавливание (или экструзия)** отличается от других способов переработки термопластов непрерывностью, высокой производительностью процесса и возможностью получения на одном и том же оборудовании большого многообразия деталей. Выдавливание осуществляют на специальных червячных машинах. Перерабатываемый материал в виде порошка или гранул из бункера 1 (рис 58, а) попадает в рабочий цилиндр 3, где захватывается вращающимся червяком 2. Червяк продвигает материал, перемешивает и уплотняет его. В результате передачи теплоты от нагревательного элемента 4 и выделения теплоты при трении частиц материала друг о друга и о стенки цилиндра перерабатываемый материал переходит в вязкотекучее состояние и непрерывно выдавливается через калиброванное отверстие головки 6. Расплавленный материал проходит через радиальные канавки оправки 5. Оправку применяют для получения отверстия при выдавливании труб.

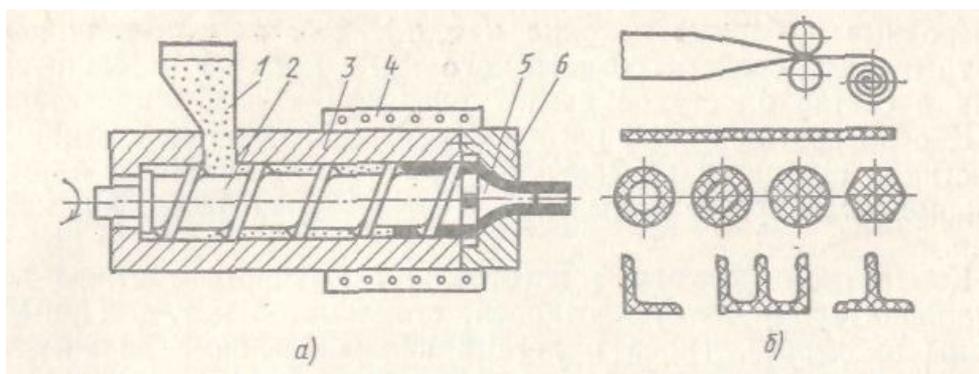


Рис. 58. Непрерывное выдавливание:  
а — схема установки; б — профили получаемые деталей

Непрерывным выдавливанием можно получить детали различного профиля (рис. 58, б). При получении пленок из термопластов (полиэтилена, полипропилена и др.) используют метод раздува. Расплавленный материал продавливают через кольцевую щель насадной головки и получают заготовку в виде труб, которую сжатым воздухом раздувают до требуемого диаметра. После охлаждения пленку подают на намоточное приспособление и сматывают в рулон. Способ раздува позволяет получить пленку толщиной до 40 мкм. Для получения листового материала используют щелевые головки шириной до 1600 мм. Выходящее из щелевого отверстия полотно проходит через валки гладильного и тянущего устройств. Здесь же происходит предварительное охлаждение листа, а на роликовых конвейерах — окончательное охлаждение. Готовую продукцию сматывают в рулоны или разрезают на листы определенных размеров с помощью специальных ножниц.

### Резины. Свойства и область применения резиновых деталей

В производстве резиновых технических деталей основным видом сырья являются натуральные и синтетические каучуки. Натуральные каучуки не нашли широкого применения, так как сырьем для их получения служит каучукосодержащий сок отдельных сортов растений. Сырьем для получения синтетических каучуков является нефть, нефтепродукты, природный газ, древесина и т. д. Каучук в натуральном виде в промышленности не применяют, его превращают в резину вулканизацией. В качестве вулканизирующего вещества обычно используют серу. Количество серы определяет эластичность резиновых деталей. Например, мягкие резины содержат 1—3 % серы, твердые (эбонит) — до 30 % серы. Процесс вулканизации происходит под температурным воздействием (горячая вулканизация) или без температурного воздействия (холодная вулканизация). Для улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств резиновых технических деталей и снижения расхода каучука в состав резиновых смесей вводят различные компоненты.

Наполнители уменьшают расход каучука, улучшают эксплуатационные свойства деталей. Наполнители подразделяют на порошкообразные и тканевые. В качестве порошкообразных наполнителей применяют сажу, тальк, мел и др. К тканевым наполнителям относят хлопчатобумажные, шелковые и другие ткани. В некоторых случаях для повышения прочности деталей их армируют стальной проволокой или сеткой, стеклянной или капроновой тканью. Количество наполнителя зависит от вида выпускаемых деталей.

Мягчители (парафин, стеариновая кислота, канифоль и др.) служат для облегчения процесса смешивания резиновой смеси и обеспечения мягкости и морозоустойчивости. Для замедления процесса окисления в резиновые смеси добавляют противостарители (вазелин, ароматические амины и др.). Процесс вулканизации ускоряют введением в смесь оксида цинка и др.

Красители (охра, пятисернистая сурьма, ультрамарин и др.) вводят в смесь в количестве до 10 % массы каучука.

Высокая эластичность, способность к большим обратимым деформациям, стойкость к действию активных химических веществ, малая водо- и газопроницаемость, хорошие диэлектрические и другие свойства резины обусловили ее применение во всех отраслях народного хозяйства. В машиностроении применяют разнообразные резиновые технические детали: ремни — для передачи вращательного движения с одного вала на другой; шланги и напорные рукава — для передачи жидкостей и газов под давлением; сальники манжеты, прокладочные кольца и уплотнители — для уплотнения подвижных и неподвижных соединений; муфты, амортизаторы — для гашения динамических нагрузок; конвейерные ленты — для оснащения погрузочно-разгрузочных устройств и т. д.

### **Способы формообразования резиновых деталей**

Технологический процесс изготовления резиновых технических деталей состоит из отдельных последовательных операций: приготовления резиновой смеси, формования и вулканизации. Процесс подготовки резиновой смеси заключается в смешении входящих в нее компонентов. Перед смешением каучук переводят в пластичное состояние многократным пропусканием его через специальные вальцы, предварительно подогретые до температуры 40—50 °С. Находясь в пластичном состоянии, каучук обладает способностью хорошо смешиваться с другими компонентами. Смешение проводят в червячных или валковых смесителях. Необходимо иметь в виду, что первым из компонентов при приготовлении смеси вводят противостаритель, последним — вулканизатор или ускоритель вулканизации.

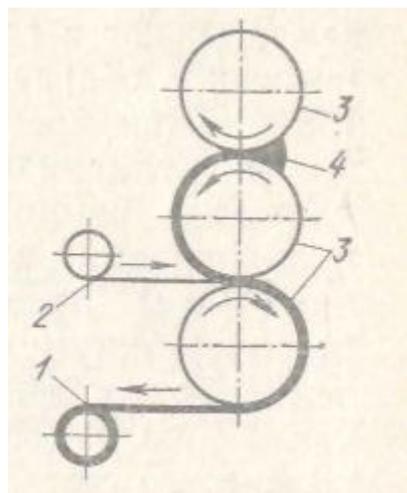


Рис. 59. Схема получения прорезиненных тканей

Резиновые технические детали в зависимости от предъявляемых к ним требований формуют каландрованием, непрерывным выдавливанием, прессованием, литьем под давлением, намоткой и т. д. Многие технологические процессы переработки резиновых композиций в детали подобны тем, которые были рассмотрены при формовании деталей из пластмасс.

Каландрование применяют для получения резиновых деталей в виде листов и прорезиненных лент, а также для соединения листов резины и прорезиненных лент (дублирование). Операцию выполняют на многовалковых машинах — каландрах. Валки каландров снабжают системой внутреннего обогрева или охлаждения, что позволяет регулировать температурный режим. Листы резины, полученные прокаткой на каландрах, сматывают в рулоны и используют затем в качестве полуфабриката для других процессов формования резиновых деталей. Во избежание слипания резины в рулонах ее посыпают тальком или мелом при выходе из каландра.

В процессе получения прорезиненной ткани в зазор между валками каландров 3 (рис. 59) одновременно пропускают пластифицированную сырую резиновую смесь 4 и ткань 2. Резиновая смесь поступает в зазор между верхним и средним валками, обволакивает средний валок и поступает в зазор между средним и нижним валками, через который проходит ткань. Средний валок вращается с большей скоростью, чем нижний. Разность скоростей обеспечивает втирание резиновой смеси в ткань. Толщину резиновой пленки на ткани регулируют, изменяя зазор между валками каландра. Многослойную прорезиненную ткань получают при пропускании определенного числа листов однослойной прорезиненной ткани через валки каландра. Полученную ткань наматывают на барабан / и затем вулканизируют.

Непрерывное выдавливание используют для получения профилированных, резиновых деталей (труб, прутков, профилей для остекления и т. д.). Детали непрерывным выдавливанием изготавливают на машинах червячного типа. Таким способом покрывают резиной металлическую проволоку.

Прессование — один из основных способов получения фасонных деталей (манжет, уплотнительных колец, клиновых ремней и т. д.). Прессуют их в металлических формах. Применяют горячее и холодное прессование. При горячем прессовании резиновую смесь закладывают в горячую пресс-форму и прессуют на гидравлических прессах обогреваемыми плитами. Температура прессования 140— 155°С. При прессовании одновременно происходят формование и вулканизация деталей. Высокопрочные детали (например, клиновые ремни) после формования подвергают дополнительной вулканизации в специальных приспособлениях — пакетах. Холодным прессованием получают детали из эбонитовых смесей (корпуса аккумуляторных батарей, детали для химической промышленности и т. д.). После прессования заготовки

отправляют на вулканизацию. В состав эбонитовой смеси входят каучук и значительное количество серы (до 30 % массы каучука). В качестве наполнителей применяют размельченные отходы эбонитового производства.

Литьем под давлением получают детали сложной формы. Резиновая смесь поступает под давлением при температуре 80—320 °С через литниковое отверстие в литейную форму, что значительно сокращает цикл вулканизации.

Вулканизацию — завершающую операцию при изготовлении резиновых деталей — проводят в специальных камерах (вулканизаторах) при температуре 120—150 °С в атмосфере насыщенного водяного пара при небольшом давлении. В процессе вулканизации происходит химическая реакция серы и каучука, в результате которой линейная структура молекул каучука превращается в сетчатую, что уменьшает пластичность, повышает стойкость к действию органических растворителей, увеличивает механическую прочность.

При массовом производстве резиновых технических деталей все технологические операции выполняют с помощью высокопроизводительного и автоматизированного оборудования.

## 2.2. Лабораторные работы

### Лабораторная работа №1.

#### Металлографический анализ. Изучение процесса кристаллизации

Цель работы: ознакомиться с устройством и освоить методику работы на металлографическом микроскопе, изучить процесс кристаллизации.

Металлографический микроскоп позволяет наблюдать структуру в отраженном свете. Принципиальная оптическая схема учебного металлографического микроскопа /ММУ/ приведена на рис. 1.1.

Низковольтным источником I направляется параллельный пучок света в направлении прозрачной стеклянной пластинки 2, установленной под углом 45° к пучку света.

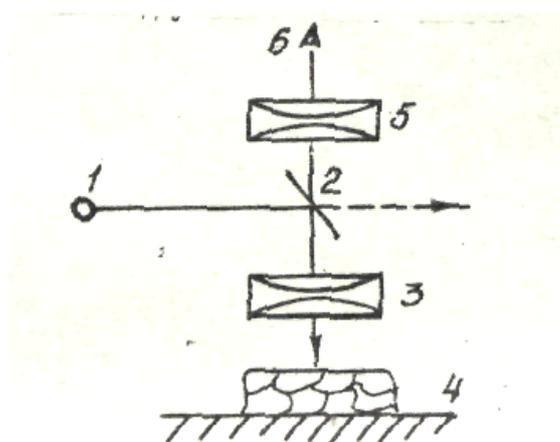


Рис. 1.1.

Часть лучей пройдет прозрачную пластинку и будет потеряна, а часть отразится вниз, пройдет через объектив микроскопа 3 и достигнет поверхности микрошлифа 4. Часть светового потока, достигшего поверхности микрошлифа, будет потеряна /рассеяна или поглощена/, а часть отразится вверх, достигнет поверхности стеклянной пластинки 2, где еще раз произойдет разделение светового потока на две составляющие. Часть его,

отраженная влево, теряется бесполезно, часть же, прошедшая через пластинку вверх, после прохождения через окуляр 5 попадает в глаз наблюдателя 6.

Важнейшими характеристиками микроскопа являются:

1/ разрешающая способность, под которой понимается наименьшее расстояние между двумя элементами структуры, воспринимаемое объективом отдельно;

2/ полезное увеличение, т.е. предел увеличения, обеспечивающий приемлемое качество изображения;

3/ общее увеличение, которое может быть определено как произведение увеличений объектива и окуляра.

### Наблюдение процессов кристаллизации

В основе кристаллического строения лежит элементарная кристаллическая решетка /ячейка/. При рассмотрении структуры металлов под микроскопом обнаруживаются колонии сросшихся кристаллических образований, называемых зернами. Внутренняя часть этих образований имеет правильную кристаллическую форму, внешняя же часть - форму неправильных многоугольников, обусловленную условиями их роста.

Проследить процессы зарождения и роста кристаллов можно на прозрачных легкоплавких веществах. Обычно для этих целей используют перенасыщенные водные растворы хлористого аммония или хромпика.

Капля подогретого раствора стеклянной палочкой наносится на покровное стекло биологического микроскопа, где сразу наблюдаются происходящие в ней превращения. Эти превращения подчиняются общим законам кристаллизации. Температура подогретого раствора выше температуры покровного стекла, и следовательно, при охлаждении из перенасыщенного раствора начнут выкристаллизовываться кристаллики вещества.

Нанесенная на покровное стекло капля раствора имеет форму плоско-выпуклой линзы и, следовательно, скорость ее охлаждения в различных зонах будет различной. У тонких краев охлаждение будет наиболее интенсивным. Из теории известно, что с увеличением скорости охлаждения измельчаются растущие кристаллы. Это явление наблюдается не только своим конечным результатом, но и в непрерывной последовательности.

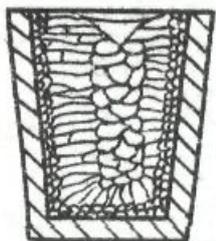


Рис. 1.2. Схема строения слитка



1.3. Схема кристаллизации хромпика

На рис. 1.2. и 1.3 , соответственно приведены схемы строения слитка и кристаллизации хромпика, наблюдаемые под микроскопом. Из сопоставления рисунков отчетливо видна общая закономерность их строения. В периферийной части - мелкие неориентированные кристаллы, за которыми следует зона транскристаллизации, а затем зона равноосных кристаллов. На рис. 1.2. отчетливо видна усадочная раковина, а на рис. 1.3. соответствующая ей свободная от кристаллов зона, образовавшаяся в результате обеднения раствора.



Рис. 1.4. Схема кристаллизации хлористого аммония

Кристаллизация хлористого аммония /рис. 1.4/ протекает по тем же законам, однако вид растущих кристаллов в свободной зоне имеет ярко выраженный дендритный характер.

■ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Металлографический микроскоп.
2. Растворы солей.
3. Покровные стекла.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Уяснить сущность и назначение структурных методов исследования металлов и сплавов. Изучить теорию кристаллизации.
2. Ознакомиться с принципиальной схемой металлографического микроскопа, освоить его настройку на визуальное наблюдение структуры.
3. Провести наблюдение за характером кристаллизации из перенасыщенного раствора соли.
4. Рассмотреть микроструктуру, привести рисунок структуры наиболее удачно затвердевших капель соли.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. В чем особенность конструкции металлографического микроскопа?
2. Какова принципиальная схема металлографического микроскопа?
3. Что понимается под разрешающей способностью микроскопа?
4. Что понимается под полезным увеличением металлографического микроскопа?
5. Что понимается под общим увеличением микроскопа?
6. Почему периферийные кристаллы хлористого аммония и хромпика значительно мельче центральных?
7. Для чего производится подогрев растворов хромпика и хлористого аммония перед нанесением их на покровное стекло?

Лабораторная работа №2.

Изучение микроструктуры металлов и двойных сплавов

Цель работы: изучение структур чистых металлов и двойных сплавов на примере систем свинец-сурьма, медь-никель и зарисовка их структур.

Металлическими сплавами называют твердые кристаллические тела, состоящие из двух или более компонентов, хотя бы один из которых является металлом. Двойными называют сплавы, образованные двумя компонентами /например, сплав свинца и сурьмы/.

Сплавы свинец-сурьма, в зависимости от их структур, определяемых содержанием компонентов, делятся на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические.

На рис. 2.1. представлена диаграмма состояния сплавов

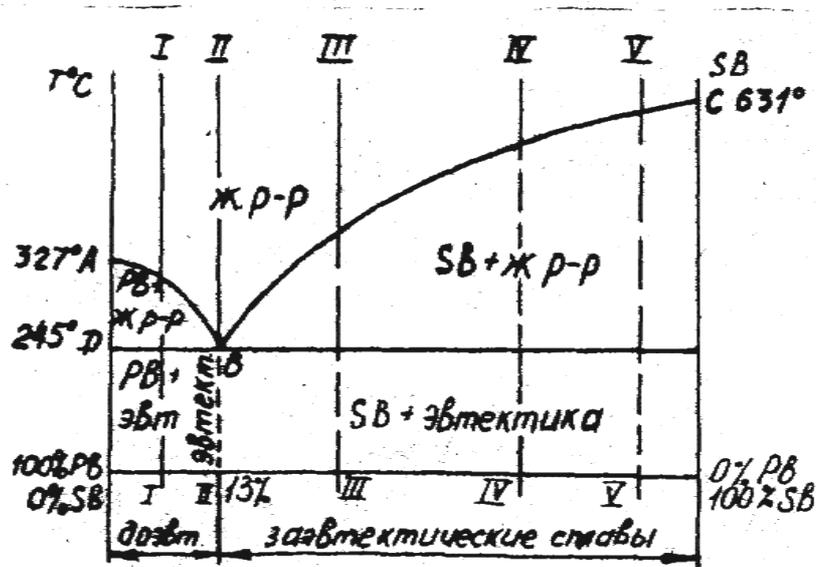


Рис. 2.1. Диаграмма состояния сплавов Pb-Sb

#### Доэвтектический сплав

К доэвтектическим сплавам относят сплавы, содержащие до 13% Sb. В их структуре содержатся кристаллы свинца /темного цвета/, окруженные светлой свинцово-сурьмянистой эвтектикой.

Эвтектикой в общем случае называют мелкодисперсную механическую смесь двух одновременно кристаллизующихся компонентов при постоянстве их соотношения. Свинцово-сурьмянистая эвтектика образуется:

- а/ при постоянной температуре, равной 245°;
- б/ постоянной концентрации - 13% Sb и 87% Pb.

При внимательном рассмотрении диаграммы /рис. 2.1./ нетрудно установить, что с возрастанием в доэвтектическом сплаве содержания сурьмы в его структуре увеличивается доля эвтектической составляющей и при содержании 13% Sb вся площадь микрошлифа будет занята эвтектикой.

#### Заэвтектические сплавы

Заэвтектическими называют сплавы, содержащие свыше 13% Sb. В соответствии с диаграммой состояния в структуре заэвтектических сплавов содержатся кристаллы избыточной сурьмы и эвтектика. Эвтектика на фоне светлых кристаллов сурьмы кажется темной. Чем больше в сплаве сурьмы, тем меньшую часть площади микрошлифа занимает эвтектика.

В сплавах - механических смесях, с достаточной для практики точностью, по структуре можно определить химический состав. Если, например, в заэвтектическом сплаве /рис 2.2./, по визуальной оценке, 25% площади микрошлифа занимают кристаллы сурьмы, то на долю эвтектики приходится 75%.



Рис. 2.2. Заэвтектический сплав

Тогда общее содержание сурьмы в сплаве будет составлять  $25\%Sb + 75\% \cdot \frac{13\%Sb}{100} = 25\%Sb + 9,75\%Sb = 35\%Sb$  и соответственно количество свинца в сплаве составит  $100\% - 35\% = 65\%$ .

При рассмотрении твердых растворов, в качестве примера воспользуемся диаграммой состояния системы Cu-Ni, представленной на рис. 2.3.

Диаграмма характеризует двойные сплавы, компоненты неограниченно растворимы друг в друге как в жидком, так и в твердом состояниях. Рассмотрим процесс кристаллизации сплава I-I. При температуре  $t$  сплав находится в жидком состоянии. При температуре  $t_1$  выпадает первый кристалл раствора меди и никеля - состав которого соответствует проекции точки  $m_1$  на ось концентраций, к температуре  $t_2$  количество кристаллов возрастает, и их состав будет соответствовать проекции точки  $m_2$ .

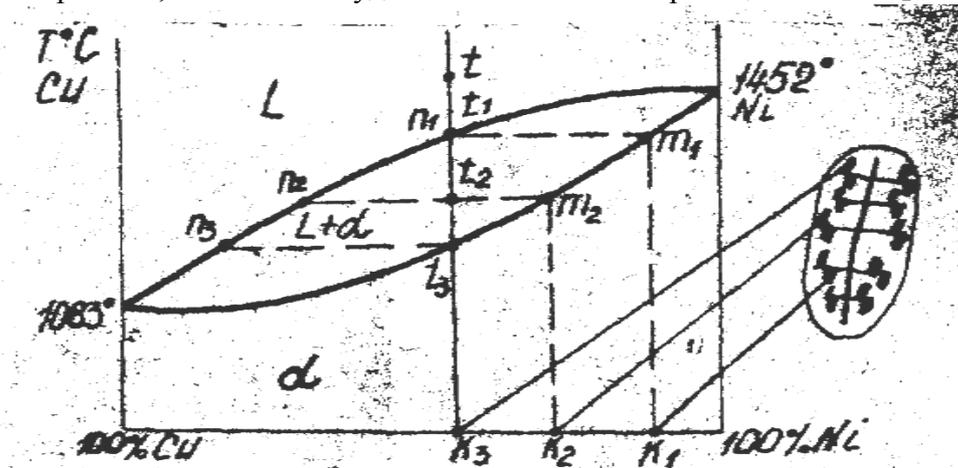


Рис. 2.3. Диаграмма состояния Cu-Ni

Состав остатка жидкости будет соответствовать проекции точки  $n_2$ . К температуре  $t_3$  кристаллизация закончится. Пре этом последняя капля жидкости имела состав проекции  $n_3$ . Химическая неоднородность кристаллов твердого раствора называется дендритной ликвацией. Дендритная ликвация проявляется тем сильнее, чем быстрее охлаждение сплава и чем больше температурный интервал между линиями ликвидус и солидус. Как правило, дендритная ликвация нежелательна из-за пониженных механических свойств сплава.

Для устранения дендритной ликвации литой сплав подвергают диффузному отжигу с нагревом до температуры, лежащей на 100-150°C ниже линии солидус. В результате диффузии концентрация компонентов выравнивается, дендритное строение исчезает, образуются равноосные однородные зерна.

## ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

1. Металлографический микроскоп.

2. Коллекция микрошлифов:  
а/ чистый металл;  
б/ сплав свинец-сурьма;  
в/ сплав медь-никель /твердый раствор/.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Уяснить значение диаграмм состояния при изучении сплавов.
2. Зарисовать в лабораторных тетрадях структуры сплавов свинец-сурьма с обозначением структурных составляющих.
3. Подсчитать содержание сурьмы и свинца в заэвтектических сплавах - механических смесях.
4. Досмотреть микроструктуру сплавов медь-никель, схематически зарисовать их и оценить влияние диффузионного отжига на изменение структуры.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. На какие виды, в зависимости от содержания Sb, разделяются сплавы Pb-Sb и какова их структура?
2. Каково содержание Sb в эвтектике?
3. Что называется эвтектикой и чем она характеризуется?
4. Как определить содержание Pb в доэвтектическом сплаве?
5. Как определить содержание Sb в заэвтектическом сплаве?
6. В чем отличие структур литого и отожженного сплавов /Cu-Ni /?
7. Что такое металлический сплав?
8. Охарактеризуйте диаграммы состояния I и 2-го типа.
9. В чем отличие структур чистых металлов от структуры металлических сплавов?
10. Что называется сплавами - механическими смесями?
11. Что называется сплавами - твердыми растворами?
12. Основные разновидности сплавов - твердых растворов.
13. Возможные области применения сплавов- механических смесей.
14. Возможные области применения сплавов - твердых растворов.

### Лабораторная работа №3.

#### Изучение микроструктур сталей в равновесном состоянии

Цель работы: ознакомлений с микроструктурами сталей, содержащих различное количество углерода, определение содержания углерода по микроструктуре.

Равновесными называются структуры, в которых полностью завершились диффузионные процессы. Практически это структуры, сформировавшиеся в условиях медленного охлаждения сплавов. Известно, что в таких условиях строятся диаграммы состояния. Применительно к железоуглеродистым сплавам равновесными будут структуры, соответствующие диаграмме состояния железо-углерод.

Углеродистые стали, в зависимости от их структур, определяемых содержанием углерода, делятся на доэвтектоидные, эвтектоидные и заэвтектоидные. На рис. 3.1. представлен нижний стальной угол диаграммы состояния системы железо-углерод. Вертикальными линиями отмечены сплавы, приблизительно соответствующие сплавам, содержащимся в коллекции.

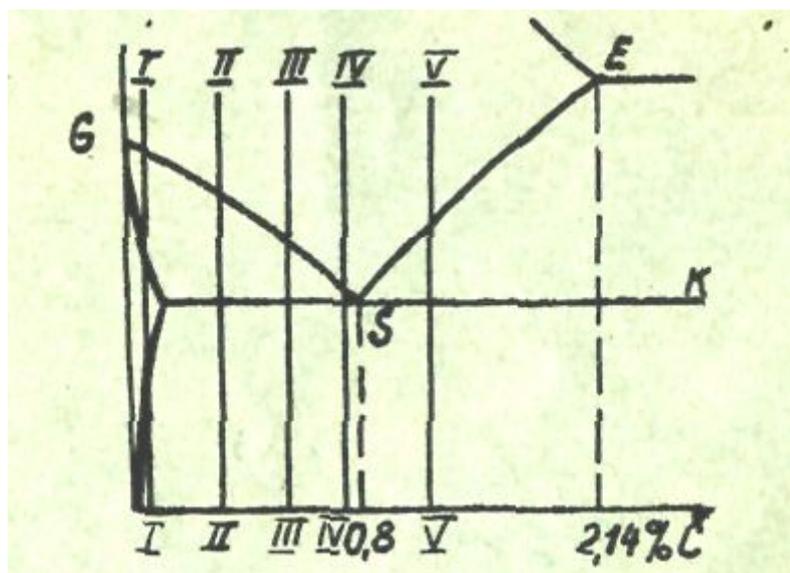


Рис. 3.1. Диаграмма Fe-Fe<sub>3</sub>C (область сталей)

При выполнении работы необходимо, прежде всего, определить микрошлифы, составить их описание и предъявить ее преподавателю. Убедившись в правильности своего решения, приступить к зарисовке структур.

Один из микрошлифов /I-I/ представляет сталь с незначительным содержанием углерода, называемую обычно техническим железом /рис. 3.2./.

При внимательном рассмотрении микрошлифа технического железа отчетливо просматриваются зерна, отличающиеся друг от друга интенсивностью светло-серой окраски, хотя все зерна имеют одинаковый химический состав. Различие в их цвете объясняется анизотропностью свойств кристаллов. Анизотропность проявляется в том, что будучи срезанным плоскостью микрошлифа, различно ориентированные кристаллиты по разному протравливаются реактивом при травлении микрошлифа.

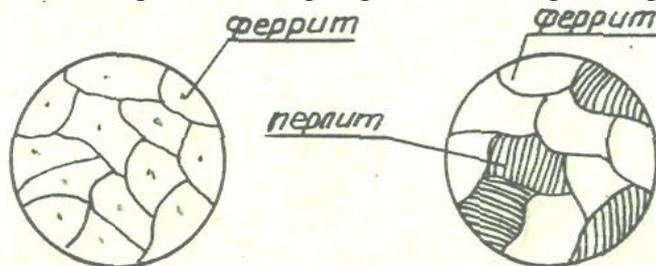


Рис. 3.2. Структура технического железа

Рис. 3.3. Структура доэвтектоидной стали

На рис. 3.3. приведена схема структуры доэвтектоидной стали, где светлыми зернами обозначен феррит, а темными /пластинчатыми/ перлит. Принимая во внимание, что при комнатной температуре в феррите содержится не более 0,01% углерода, можно утверждать, что практически весь углерод содержится в перлите.

С учетом того, что в перлите содержится 0,8% углерода и оценив визуально соотношение площадей, занятых перлитом и ферритом в видимой под микроскопом части микрошлифа, мы можем определить общее содержание углерода в стали, из которой изготовлен рассматриваемый микрошлиф.

Пусть /рис. 3.3./ перлит занимает 50% площади микрошлифа. Требуется определить содержание углерода в представленной этим микрошлифом стали.

Составляем пропорцию:

В 100% перлита углерода содержится 0,8%

В 50% перлите углерода содержится  $X\%$

$$\text{Отсюда } X = \frac{0,8 \cdot 50}{100} = 0,4\%$$

Аналогичным образом определяется содержание углерода во всех трех микрошлифах доэвтектоидной стали.

В соответствии с диаграммой состояния, в структуре углеродистой заэвтектоидной стали содержатся перлит и вторичный цементит. Структура отжига /или структура медленно охлажденной из жидкого состояния стали/ имеет сетчатое строение, в которой перлитные зерна окружены тонкой сеткой вторичного цементита /рис. 3.4./.

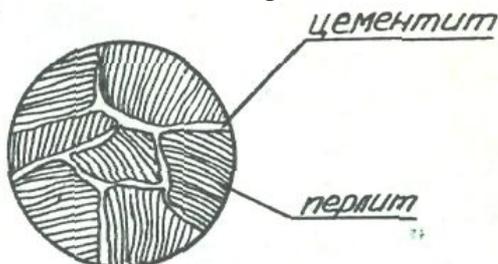


Рис. 3.4. Структуре заэвтектоидной стали

Пластинчатый перлит представляется темными зернами, цементитная сетка представляется тонкой светлой линией.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Металлографический микроскоп.
2. Коллекция микрошлифов:
  - а/ технически одетое железо;
  - б/ доэвтектоидная сталь ;
  - в/ заэвтектоидная сталь.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Вычертить область сталей диаграммы железо-цементит, расшифровать строение сплавов в заданных областях диаграммы.
2. Изучить микроструктуры предложенных областей сталей и обозначить структурные составляющие сплавов.
3. Определить содержание углерода в доэвтектоидных сталях. Обозначить положение этих сплавов на диаграмме вертикальными линиями.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Что называется сталью?
2. На какие виды, в зависимости от содержания углерода, разделяются стали и какова их структура?
3. Каково содержание углерода в перлите?
4. Как определить содержание углерода в доэвтектоидной стали по ее структуре?
5. Что такое феррит, перлит, цементит, аустенит?
6. Чем отличается цементит первичный от вторичного /по условиям образования/?
7. Как можно по структуре равновесной доэвтектоидной стали определить количество содержащегося в ней углерода?

Лабораторная работа №4  
Изучение микроструктур чугунов

Цель работы: научиться определять вид чугуна по его структуре.

Чугунами называют железоуглеродистые сплавы, содержащие более 2,14% углерода. По признакам структуры к чугунам относят высокоуглеродистые сплавы, содержащие эвтектику-ледебурит.

На рис. 4.1. приведена чугунная часть диаграммы железо-углерод.

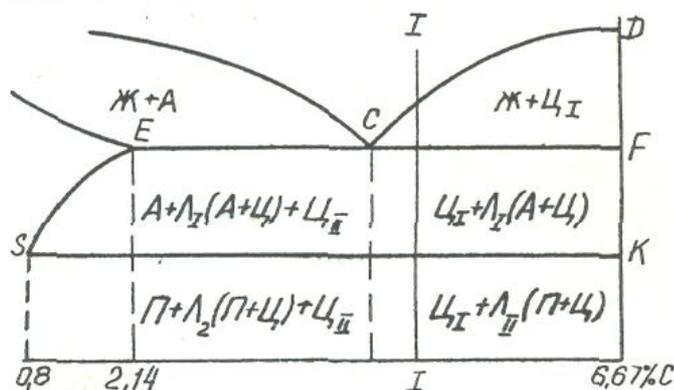


Рис. 4.1. Диаграмма железо-цементит /область чугунов/

В соответствии с диаграммой чугуны разделяются на доэвтектические, эвтектические и заэвтектические. Структурные составляющие каждого из видов чугунов приведена на диаграмме, которая характеризует белые или передельные чугуны.

В машиностроении белые чугуны применяются редко, так как они хрупки, плохо поддаются обработке, литейные свойства у них чрезвычайно низкие /большая усадка, плохая жидкотекучесть/.

Представление о структуре белых чугунов дает рис.4.2. По содержанию углерода он соответствует заэвтектическому, так как не содержит структурного свободного перлита, а только ледебурит и небольшое количество цементита. Из последнего обстоятельства следует, что состав приведенного чугуна близок к эвтектическому и примерно соответствует сечению I-I /рис. 4.1/.

Остальные микрошлифы коллекции чугунов являются разновидностями серых чугунов.

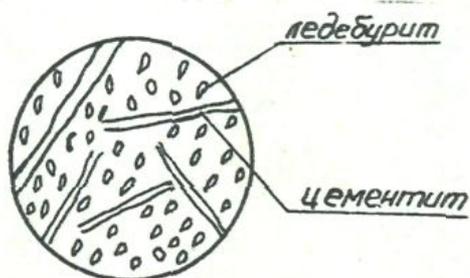


Рис. 4.2 Структура белого чугуна

Серыми называются чугуны, углерод которых полностью или частично находится в свободном состоянии в виде графита. Геометрическая форма графитовых включений может быть различной. У обычных серых чугунов она чешуйчатая, у ковких - хлопьевидная, у высокопрочных - сфероидизированная.

Условия образования различных видов графитовых включений, следовательно, и различных видов чугунов различны.

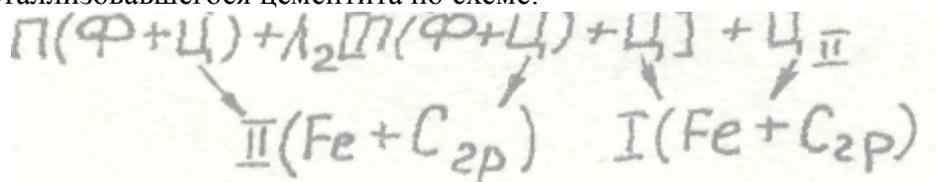
Для образования чешуйчатой формы гранитовых включений необходимо обеспечить оптимальные скорость охлаждения отливок и химический состав чугуна.

При рассмотрении диаграммы состояния системы железо-углерод мы исходили из предложения, что система двухкомпонентна, т.е. без примесей. В результате таких условий образуется белый чугун. Это дает основание утверждать, что при наличии только железа и углерода всегда образуется белый чугун.

В реальных технических чугунах таких "идеальных" условий нет, так как они содержат некоторое количество примесей. Примесями могут служить твердые частицы, принимавшие на себя роль центров, около которых начинается рост графитовых включений или элементы-графитизаторы, сильнейшим из которых является кремний, действие которого тем ощутимее, чем в большем количестве он содержится и чем медленнее остывает отливка.

Таким образом вид чугуна определяется его химическим составом и скоростью охлаждения отливки. Легко подобрать такой состав чугуна, когда при медленном охлаждении отливки образуется серый чугун, а при ускоренном - белый. Можно на одной и той же отливке получить зоны белого и серого чугунов.

Для объяснения закономерностей образования свободного углерода можно исходить из различных положений. Самым простым, является положение о распаде закристаллизовавшегося цементита по схеме:



Этот распад определяется условиями, о которых говорилось выше, степень же распада определяет характер металлической основы серых чугунов. По структуре самым сложным из белых чугунов является доэвтектический чугун.

Если представить себе условно распад цементита состоящим из двух стадий, как это показано на схеме, то в результате завершения первой стадии металлическая основа будет перлитной, в результате завершения второй стадии - ферритной. Если же вторая стадия проходит не до конца, то металлическая основа будет перлитно-ферритной.

Из сказанного следует, что во всех трех случаях металлическая основа чугунов будет сталь /эвтектоидная или доэвтектоидная/. То, что металлическая основа изрезана графитовыми включениями не имеющими механической прочности и, следовательно разобщена и определяет повышенную хрупкость серых чугунов. Не взирая на это, серые чугуны в машиностроении распространены достаточно широко. Этому обстоятельству способствует ряд факторов.

1. Экономические соображения. Получать отливки сложной конфигурации из чугуна можно на простом оборудовании.
2. Хорошие литейные свойства серого чугуна /малая литейная усадка и достаточная жидкотекучесть при сравнительно невысокой температуре плавления/.
3. Детали из серого чугуна, именно в силу их изрезанности графитовыми включениями, обладают способностью поглощать вибрации.
4. Серый чугун является антифрикционным материалом, в силу чего из него изготавливают подвижные сопряжения.

Антифрикционность серого чугуна объясняется включениями графита, выполняющими роль смазки и хорошо удерживающими масло, вводимое в сопряжение. В коллекции имеются микрошлифы серых чугунов с чешуйчатым графитом. Металлическая основа одного из них - перлитная, другого - ферритная. Микрошлифы отличаются очень мелкими чешуйками графита. Такой чугун называется модифицированным. Он отличается повышенными механическими свойствами.

Получают его введением в ковш с расплавленным чугуном, перед его разливкой, порошка ферросилия.

Ковкие чугуны - одна из разновидностей серых чугунов, его нельзя получить отливкой. В этом отношении он является искусственным чугуном. Сначала получают отливки из белого чугуна специального состава, а затем подвергают их графитизирующему отжигу. Химический состав отливок обычно следующий: 2,4-2,8% углерода, 0,8-1,4% кремния, не более 1,0% марганца. Содержание примесей серы и фосфора не должно превышать соответственно 0,1 и 0,2%. При выборе состава исходят из того, что большее содержание углерода и кремния вызвало бы образование в процессе отжига очень крупных скоплений хлопьевидного графита, резко снизив механические свойства. Содержание марганца, как карбидообразующего элемента, ограничивается 1,0%, что практически соответствует содержанию этого элемента в углеродистой стали. Чугун такого состава не удается получить в вагранках и его получают в специальных печах, что существенно повышает его стоимость. Однако, наибольший удельный вес стоимости ковких чугунов приходится на долю графитизирующего отжига.

Применительно к ковкому не имеет смысла говорить о чугуне вообще, а только об определенных деталях из ковкого чугуна. Такое ограничение вызвано тем, что однородная структура ковких чугунов возможна только на тонкостенных отливках /до 20 мм/. Название "ковкий" нельзя понимать буквально. Ни один из видов чугунов не куется.

Из ковкого чугуна изготавливают многие детали в машиностроении, строительстве и сантехнике. Например, кожухи дифференциалов и чулки заднего моста автомобилей, направляющие аппараты режущих механизмов комбайнов, тройники и соединительные муфты труб парового отопления и многие другие детали.

Металлическая основа ковких чугунов такая же как у серых чугунов /перлитная, ферритная и перлитно-ферритная/. Определяется она условиями и режимом отжига /рис. 4.3./.

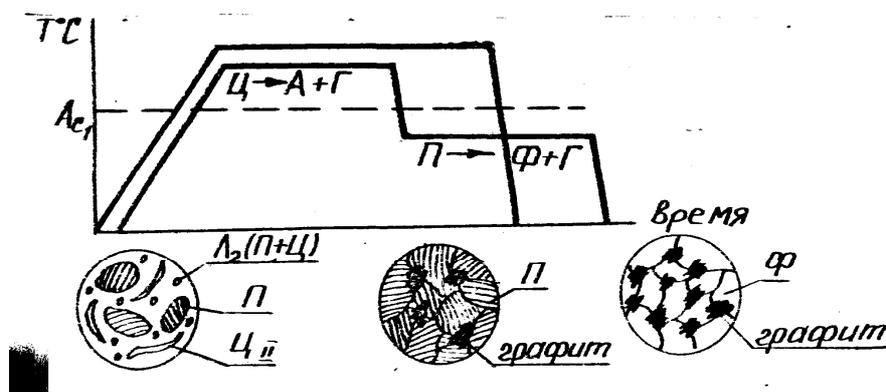


Рис. 4.3. Схема отжига ковких чугунов

В соответствии со схемой /рис. 4.3./ процесс отжига может иметь один или два варианта. По первому варианту в результате выдержки при температуре 930-970° происходит графитизация структурно-свободного цементита /вторичного/. Если после оптимальной выдержки при этой температуре произвести ускоренное охлаждение отливки, то наряду с образовавшимися хлопьями графита, в результате аустенитно-перлитного превращения, на линии  $A_{c1}$  в структуре будет содержаться перлит, т.е. образуется ковкий чугун на перлитной основе. Если же осуществить и вторую стадию графитизации, т.е. дать выдержку при температуре, лежащей несколько ниже линии  $A_{c1}$  то графитизируется и цементит перлита. В результате металлическая основа ковкого чугуна будет ферритной. Если же вторая стадия графитизации проходит не

до конца и часть перлита сохраняется, то металлическая основа ковкого чугуна будет перлитно-ферритной.

Графитизирующий отжиг - операция очень длительная. Она продолжается около 70-80 часов. Разработаны ускоренные и сверхускоренные способы отжига, их продолжительность 10-15 часов. Достигается это подбором состава чугуна, предназначенного для отливок, подлежащих графитизирующему отжигу и режимов термической обработки. Заключается он в том, что перед графитизирующим отжигом производят закалку деталей. В результате закалки образуется множество концентраторов напряжений, около которых, при последующем отжиге образуются колонии хлопьевидного графита. Существенным недостатком этого способа, впервые осуществленного на Московском заводе малолитражных автомобилей, является значительный процент брака из-за закалочных трещин фасонных отливок.

Структура ковкого чугуна, полученного сверхускоренным отжигом, отличается мелкозернистостью, как металлической основы, так и хлопьев графита. Естественным следствием этого будут более высокими механические свойства.

### ЗАДАНИЕ

1. Закрепить знания о диаграмме состояния системы железо-углерод, имея четкое понятие о превращении структуры чугуна любого состава от температуры плавления до комнатной.
2. Просмотреть коллекцию микрошлифов и составить ее опись.
3. Зарисовать в лабораторных тетрадах схемы структур коллекции чугунов с обозначением структурных составляющих.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКА:

1. Какие чугуны называются белыми и каковы их разновидности?
2. Почему белые чугуны называются передельными?
3. Какая из структурных составляющих белых чугунов присутствует в белых чугунах любого состава?
4. Каковы структуры доэвтектических, эвтектических и заэвтектических чугунов?
5. Что такое ледебурит и чем отличается ледебурит первый от ледебурита второго?
6. Какие чугуны называются серыми?
7. От каких факторов зависит вид образующихся при кристаллизации чугунов?
8. Что понимается под металлической основой серых чугунов и каковы ее разновидности?
9. Что называется модифицированным серым чугуном, как его получают и каковы его основные разновидности?
10. Какой чугун называется ковким, почему он так называется и каковы его основные разновидности?
11. Почему ковкий чугун, в отличие от обычного серого, обладает способностью к пластической деформации?
12. Какой из серых чугунов, кроме ковкого, обладает способностью к пластической деформации и какова его характеристика?

### Лабораторная работа №5.

Механические свойства металлов и методы их определения

Цель работы: изучить влияние различных видов термической обработки на изменение механических свойств сталей, а также ознакомиться с наиболее распространенными методами механических испытаний металлов.

Значение механических свойств при проектировании позволяет обоснованно выбрать материал, который обеспечит надежность и долговечность изделий в эксплуатации.

Для определения механических характеристик материалы подвергают статическим и динамическим испытаниям. Статическими называют испытания, при которых прилагаемая к образцу нагрузка возрастает медленно и плавно. К таким испытаниям относят испытания на растяжение, сжатие, кручение, изгиб и определение твердости. Динамические испытания на ударный изгиб выявляют склонность металла к хрупкому разрушению.

В инженерной практике выбор материалов для изготовления деталей машин определяется характером действующих нагрузок, рабочей средой и механическими свойствами материалов, к которым относят твердость, прочность, пластичность, вязкость и др. Характеристики механических свойств материалов определяются путем испытания предварительно изготовленных образцов на специальных испытательных машинах.

В процессе лабораторной работы необходимо определить механические свойства у пяти пар образцов, изготовленных из углеродистой стали, предварительно подвергнутых различным видам термической обработки. При этом производятся статистические и динамические испытания образцов для определения предела прочности, относительного удлинения, относительного сужения, твердости и ударной вязкости.

Испытание на растяжение. Этот вид испытания позволяет установить сразу несколько важных механических характеристик металла или сплава. Для этого используют стандартные образцы по ГОСТ 1497-73. Машины для испытаний снабжены диаграммным аппаратом, который записывает диаграмму растяжения. При выполнении лабораторной работы во время испытания на разрывной машине необходимо для каждого образца зафиксировать  $P_B$  - максимальное усилие, выдержанное образцом /его показывает стрелка, перемещающаяся по шкале разрывной машины/.

Предел прочности определяется по формуле:

$$\sigma_B = \frac{P_B}{F_0},$$

Где  $\sigma_B$  - предел прочности,  $F_0$  - площадь поперечного сечения образца / первоначальная/,  $F_0 = \frac{\pi \cdot d_0^2}{4}$ ,  $d_0$  -- диаметр образца до испытания.

Относительное удлинение /%/ определяют по формуле:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \cdot 100\%,$$

Где  $l_1$  - длина образца после разрыва /разорванный образец плотно складывают и измеряют/,  $l_0$  - начальная длина образца.

Относительное сужение  $\psi$  /%/ определяют по формуле:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \cdot 100\%$$

Где  $F_1$  - площадь образца после испытания.

Определение твердости. Под твердостью материала понимают сопротивление проникновению в него более твердого тела. Существует несколько методов определения твердости. Наиболее распространенными являются методы Бринелля и Роквелла. По методу Бринелля в испытуемое тело под воздействием силы  $P$  внедряется шарик диаметром  $D$  /рис 5.1/. Число твердости НВ есть нагрузка  $P$  деленная на сферическую поверхность отпечатка /с диаметром  $d$ / . При методе Роквелла индентором служит алмазный конус или маленький стальной шарик /рис. 5.2./.

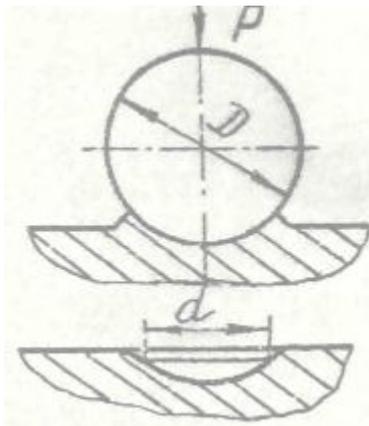


Рис.5.1. Определение твердости по методу Бринелля

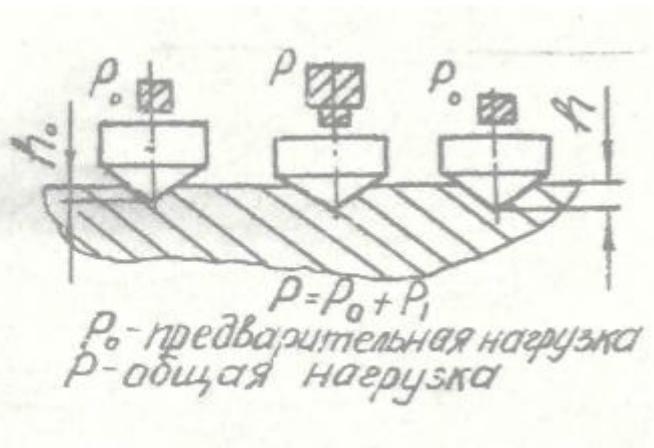


Рис. 5.2. Определение твердости по методу Роквелла

Числом твердости называется величина, обратная глубине вдавливания.

Определение ударной вязкости. Метод основан на разрушении образца с концентратором посередине одним ударом маятникового копра /рис.5.3/.

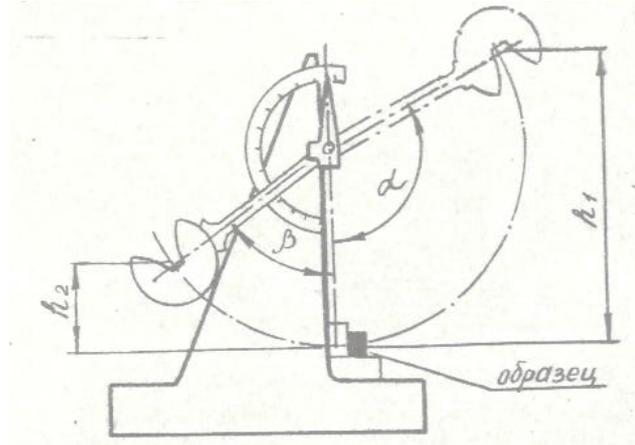


Рис. 5.3. Схема маятникового копра

Для этого предварительно вычисляют площадь поперечного сечения образца:

$S_0 = a \cdot b$ , где  $a$  и  $b$  - стороны прямоугольного сечения.

Образец кладут на опоры копра так, чтобы нож маятника при падении ударил по образцу со стороны, противоположной надрезу.

Работу  $K$ , затраченную на излом образца, определяют по таблице в зависимости от углов  $\alpha$  /угол, на который поднимают маятник для удара/ и  $\beta$  /угол вылета маятника после удара/.

Ударную вязкость считают по формуле:

$$KV = \frac{K}{S_0}$$

#### ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Машина для испытания металлов На растяжение.
2. Приборы Бринелля, Роквелла и Виккерса для испытания на твердость.
3. Маятниковый копер для испытания на ударную вязкость.
4. Измерительный инструмент - штангенциркуль, линейка.
5. Комплект образцов для определения механических свойств. Пять цилиндрических образцов для испытания на растяжение и пять прямоугольных - для испытания на ударную вязкость.
6. Кернер, чертилка, молоток, подставка для образцов.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Взять пять цилиндрических образцов /предварительно подвергнутых различным видам термической обработки/. Измерить диаметр и наметить расчетную длину  $l_0 = 10 \cdot d_0$  на каждом образце.
2. Испытать образец на разрывной машине.
3. Определить предел прочности.
4. Определить относительное удлинение  $\delta$  %.
5. Определить относительное сужение образца  $\psi$ , % /в месте образования шейки/.
6. Определить ударную вязкость на маятниковом копре.
7. Измерить твердость прямоугольных образцов по Бринеллю /для мягкой стали/, по Роквеллу /для твердой стали/. Предварительно поверхность образца должна быть зачищена наждачной бумагой от окалины /в месте испытания твердости/.
8. Результаты всех видов испытаний вписывать в таблицу.
9. Построить графики, показывающие влияние термической обработки на изменение механических свойств стали.
10. Проанализировать влияние термической обработки на изменение механических свойств стали.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

1. Назовите основные механические характеристики материалов.
2. Назовите основные виды механических испытаний.
3. Что такое прочность и пластичность материалов?
4. Какие основные методы определения прочности вы знаете?
5. Как определить твердость мягкой стали /например отожженной/?
6. Как определить твердость твердой стали /например закаленной/?
7. Что такое ударная вязкость стали?
8. На каком приборе можно произвести испытание на ударную вязкость?

### Лабораторная работа №6.

Влияние холодной пластической деформации и температуры рекристаллизации на структуру и свойства малоуглеродистой стали

Цель работы:. I. Изучить влияние пластической деформации на структуру и свойства /твердость/ малоуглеродистой стали.

2. Изучить влияние температуры рекристаллизации на структуру и свойства /твердость/ холоднодеформированной малоуглеродистой стали.

Основными механическими свойствами являются прочность, пластичность, упругость, вязкость, твердость. Зная механические свойства, конструктор при проектировании обоснованно выбирает соответствующий материал, обеспечивающий надежность и долговечность машин и конструкций при их минимальной массе.

Очень важное значение имеет пластичность, определяющая возможность изготовления изделий различными способами обработки давлением, основанным на пластическом деформировании металла. Материалы с повышенной пластичностью менее чувствительны к концентраторам напряжений и другим факторам охрупчивания.

Деформацией называется изменение формы, размеров тела под действием напряжений. Напряжения и вызываемые ими деформации могут возникать при действии на тело внешних сил растяжения, сжатия и т.д., а также в результате

фазовых /структурных/ превращений, усадки и других процессов, протекающих в металле, связанных с изменением объема.

Процесс пластической деформации является основой обработки металлов. Пластическая деформация, каким бы способом она не производилась /растяжением, сжатием, изгибом, прокаткой, волочением и т.д./ вызывает искажение кристаллической решетки, изменяет форму зерен и, образуя структуру, приводит к изменению всех свойств металлов и сплавов.

Характеристики прочности /твердость, предел прочности с увеличением степени пластической деформации растут; характеристики пластичности и вязкости /относительное удлинение, относительное сужение, ударная вязкость/ падает.

В процессе пластической деформации изменяются многие физические свойства: уменьшается удельный вес, сопротивляемость коррозии, магнитная проницаемость и т.д.

Упрочнение металлов и сплавов, полученное в процессе пластической деформации, называется нагартовкой или наклепом.

Пластически деформированный металл по сравнению с недеформированным будет находиться в равновесном, термодинамически неустойчивом состоянии. Поэтому даже при комнатных температурах в нагартованном материале протекают самопроизвольные процессы, приводящие деформированный металл в более устойчивое состояние, например, процессы старения.

При повышенных температурах эти процессы протекают быстрее. При незначительном нагревании исчезают упругие искажения кристаллической решетки, что вызывает некоторое снижение прочности и повышение пластичности нагартованного материала. Структура при этом не изменяется.

Частичное восстановление механических свойств /на 20-30%/ за счет снятия упругих искажений кристаллической решетки без заметного изменения структуры называется отдыхом или возвратом.

При более высоких температурах, определенных для каждого материала, начинается процесс образования новых зерен, взамен волокнистой структуры. При этом происходит полное разупрочнение деформированного материала. Механические и физические свойства приобретают прежние значения. Этот процесс называется рекристаллизацией.

Температура рекристаллизации зависит от природы основного металла, наличия и количества легирующих элементов, степени предшествующей деформации. Чем больше степень деформации, тем сильнее измельчается структура, тем меньше ее устойчивость, тем больше ее стремление принять устойчивое состояние. Следовательно, большая степень деформации облегчает процесс рекристаллизации. При большей степени деформации для чистых металлов минимальная температура рекристаллизации  $T_{рек} = 0,4T_{пл}$ . Для сплавов  $T_{рек} = /0,6 - 0,8/T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  - абсолютная температура плавления.

Процессы рекристаллизации подчиняются общим законам кристаллизации, т.е. протекают путем возникновения новых зародышей /центров кристаллизации/ и последующего их роста.

Процесс рекристаллизации связан с большой подвижностью атомов и требует для своего развития перемещения атомов от одного зерна к другому.

Та стадия рекристаллизации, при которой все деформированные зерна заменяются новыми стабильными, называется рекристаллизацией обработки. При более высоких температурах начинается собирательная рекристаллизация, которая заключается в росте крупных зерен за счет поглощения мелких, термодинамически менее устойчивых зерен. Температура рекристаллизации имеет огромное практическое значение.

Чтобы пластическая деформация создавала в материале упрочнение /наклеп/, она должна осуществляться при температурах ниже температуры рекристаллизации. Такая обработка называется холодной.

Если же обработка давлением осуществляется при температурах выше температуры рекристаллизации, то возникающее при деформации упрочнение будет сниматься процессом рекристаллизации и материал разупрочняется. Такая обработка давлением называется горячей.

В результате горячей обработки давлением наклепа не возникает. Температуру горячей обработки давлением выбирают значительно выше температуры рекристаллизации, т.к. при практически применяемых скоростях деформации процесс рекристаллизации при низких температурах за короткое время не успевает устранять упрочнение, полученное в процессе обработки плавлением.

Величина зерна после рекристаллизации зависит от температуры рекристаллизационного отжига и степени предшествующей пластической деформации.

Чем выше температура рекристаллизационного отжига, тем больше величина зерна. При определенной степени деформации, после рекристаллизационного отжига, можно получить крупное зерно. Степень деформации, при которой получают крупное зерно после процесса рекристаллизации называется критической степенью деформации. Для большинства металлов и сплавов она составляет от 3 до 15%.

Критической степени деформации следует избегать, т.к. она после рекристаллизационного отжига, применяемого для снятия наклепа, дает крупнозернистую структуру, обладающую пониженной ударной вязкостью.

#### ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

1. Электрические муфельные печи.
2. Образцы из малоуглеродистой стали.
3. Микрошлифы, изготовленные из той же стали, что и образцы до пластической деформации, после холодной пластической деформации на степень 50-70% и после рекристаллизационного отжига при 500 и 700°C в течение 45 мин.
4. Твердомер ТК-2.
5. Твердомер ТШ-2.
6. Микроскоп металлографический.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Произвести холодную пластическую деформацию на приборе Бринелля путем вдавливания стального закаленного шарика диаметром 10 мм с нагрузкой 187, 250, 500, 1000 и 2000 кг на одном образце и с нагрузкой 2000 кг на четырех образцах стали 10.
2. Измерить твердость пластически деформированного на различную степень образца и исходной структуры. Замер твердости производить с нагрузкой 100 кг на приборе Роквелла в центре каждого сферического отпечатка и на недеформированной поверхности.
3. После пластической деформации с нагрузкой 2000 кг произвести отжиг образцов. Для этого заложить по одному образцу в печи, предварительно нагретые до 400, 550, 650, 750°C на 45 мин. После выдержки замерить твердость в центре сферического отпечатка на приборе Роквелла.
4. Результаты замера твердости образцов после пластической деформации и после проведения отжига записать в таблицу.

5. По данным таблицы построить график влияния холодной деформации на твердость малоуглеродистой стали и график влияния температуры нагрева на твердость пластически деформированной малоуглеродистой стали.
6. Зарисовать структуру стали 10 до пластической деформации, после холодной пластической деформации и после рекристаллизационного отжига.

#### ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

4. Что называется пластической деформацией?
5. Как изменяются характеристики прочности с изменением степени пластической деформации?
3. Что называется наклепом, возвратом, отдыхом, рекристаллизацией?
4. Как влияет температура отжига на процесс рекристаллизации?

#### Лабораторная работа №7.

##### Конструирование штампа и расчет исходной заготовки

Цель работы: Ознакомить студента с методикой расчета штампа для штамповки несложной конфигурации деталей.

Штампы состоят из двух частей - верхней и нижней половин, в которых имеются полости, соответствующие форме детали (рис. 7.1).

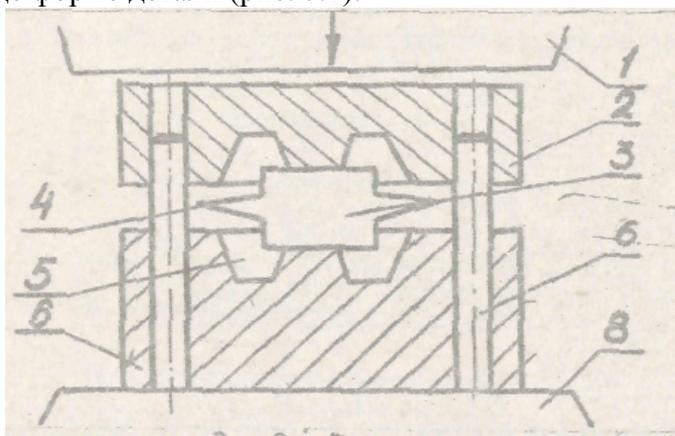


Рис. 7.1. Штамп для объемной штамповки

1-падающая часть молота, 2- верхняя половина штампа, 3-заготовка, 4-заусенец, 5-полость штампа (ручей). 6-направляющая штампа, 7-нижняя половина штампа. 8-шабот молота.

Открытые штампы характеризуется тем, что они имеют так называемой заусенец. Заусенец служит для вытекания излишнего металла при штамповке. Ввиду того, что зазор между ручьем и заусенцем очень малая, заполнение заусенца металлом происходит только после заполнения ручья, благодаря чему ручей заполняется полностью.

При штамповке простейших поковок используют одноручьевые штампы. При штамповке поковок сложной конфигурации необходимо подготовить исходную заготовку в целях приближения ее формы к конфигурации готовой поковки. Эти подготовительные операции осуществляют при помощи заготовительных ручьев в многоручьевом штампе или в отдельных штампах.

Исходным материалом для получения поковок длиной меньше 300 мм и весом менее 2500 г. обычно является пруток, от которого на отрезном штампе отрезают поковку.

Для поковок размером до 400 мм и весом до 3000 г используют парковую заготовку, а более крупные - штампуют из штучной заготовки.

В зависимости от конфигурации поковки применяют следующие виды ручьев:

## I. Ручей отрезной - нож.

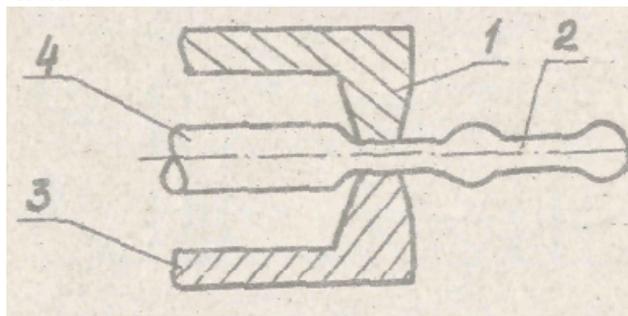


Рис. 7.2. Отрезной ручей

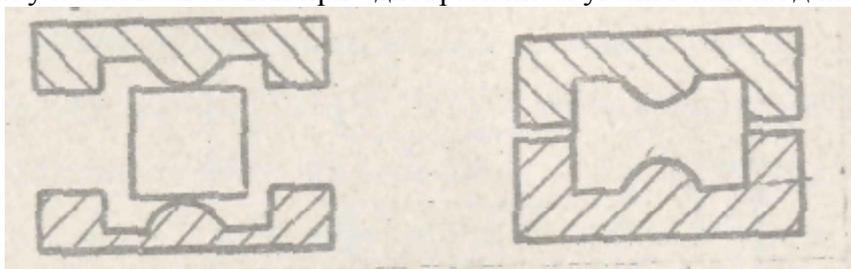
1-верхняя половина штампа, 2-поковка, 3-нижняя половина штампа, 4-заготовка

Отрезной ручей (рис.7.2) служит для отделения готовой поковки от прутка.

2. Ручьи заготовительные:

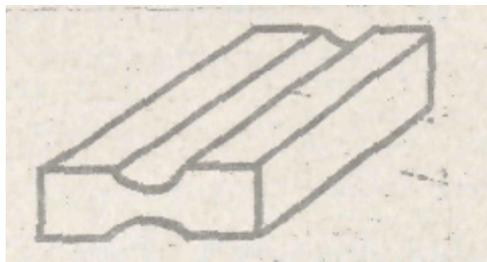
а) Формовочный ручей (рис. 7.3) служит для придания заготовке формы, соответствующей форме поковки в плоскости разъема.

б) Протяжной ручей (рис. 7.4) служит для уменьшения площадей поперечного сечения отдельных участков заготовки при одновременном увеличении их длины.



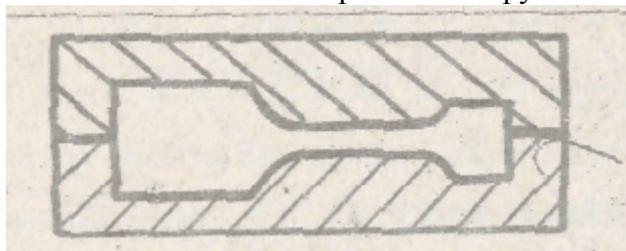
До начала штамповки

После сжатия штампа



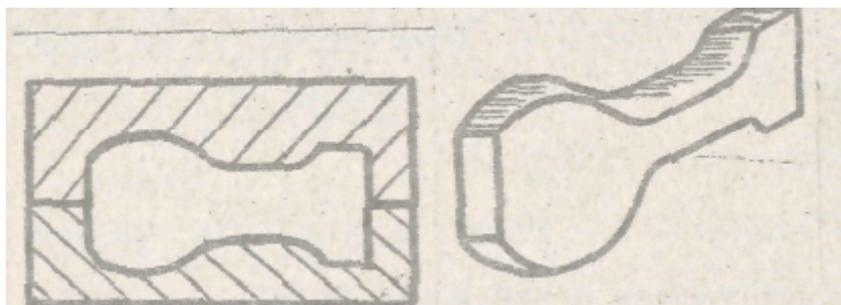
Полученная поковка

Рис. 7.3. Формовочный ручей



Рас. 7.4. Протяжкой ручей

в) Подкатный ручей (рис. 7.5) служит для значительного увеличения одних поперечных сечений заготовки за счет уменьшения других.



Полученная поковка

Рис. 7.5. Подкатной ручей

г) Пережимной ручей (рис. 7.6) служит для уширения заготовки поперек оси, если при этом не требуется больших изменений величина площади поперечных сечений заготовки с перемещением металла вдоль ее оси.

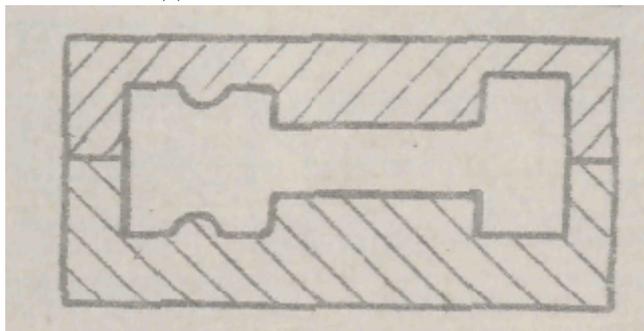


Рис. 7.6. Пережимной ручей

д) Гибочный ручей (рис. 7.7) служит для изгиба заготовки и придания ей формы, соответствующей форме поковки в плоскости разъема.

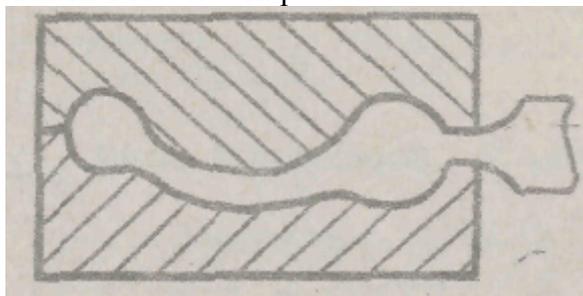


Рис. 7.7 Гибочный ручей

### 3. Ручьи штамповочные:

а) Предварительный (черновой) ручей служит для получения поковки близкой по форме с заданной. Применяют в тех случаях, когда штампуемое изделие имеет очень сложную форму.

б) Окончательный ручей служит для получения готовой поковки (с заусенцем) и представляет собой точное отображение последней, но размерами, большими на величину усадки металла при остывании (1.5%).

Окончательный ручей имеет по плоскости разъема канавку для заусенца, остальные ручьи ее не имеют.

Выбор того или иного вида ручья зависит от сложности формы поковки, ее размеров. При конструировании поковки необходимо соблюдать следующие условия:

1. Геометрическая форма штампуемой детали должна обеспечивать возможность ее выема из штампа.
2. Разъем детали должен быть таким, чтобы контуры верхней и нижней половин штампа совпадали.
3. Разъем детали должен проходить по простому, а не сложному контуру.

4. Разъем детали должен так проходить, чтобы деталь имела наименьшую глубину и наибольшую ширину.

5. Для лучшего заполнения ручья и последующего выема заготовки боковые поверхности должны иметь штамповочные уклоны. Их берут от 5 до 15°. Уклоны внутренних поверхностей изготавливают несколько большими, чем наружные.

6. Переходы от одной поверхности к другой осуществляются по закруглениям. Радиусы закруглений берут от 1,5 до 12 мм, причем наружные радиусы в 3-4 раза делают меньше внутренних.

В соответствии с эскизом детали вычерчивается эскиз поковки, на котором указывается плоскость разъема, штамповочные уклоны и закругления.

Необходимо набрать ручьи и дать их эскизы. На основании эскиза поковки производится расчет веса исходного материала, необходимого для получения поковки по формуле:

$$G_{исх} = G_n + G_з + G_{уг}$$

где  $G_{исх}$  - вес исходного материала, г;

$G_n$  - вес поковки, г;

$G_з$  - вес отхода в заусенец, г;

$G_{уг}$  - вес угара при нагреве, г;

Вес поковки можно определить по размерам эскиза, разбив фигуру поковки на элементарные объемы и просуммировав их.

$$G_n = \gamma \cdot \Sigma \cdot \Delta V$$

где  $\gamma$  - удельный вес металла, г/см<sup>3</sup>;

$\Delta V$  - элементарный объем поковки, см<sup>3</sup>.

Вес отхода в заусенец определяется из выражения

$$G_з = (0,5 \div 0,8) \cdot \gamma \cdot f_з \cdot S$$

где  $\gamma$  - уд.вес металла. Сталь 7,8 г/см<sup>3</sup>, медь 8,9 г/см<sup>3</sup>, алюминий 2,7 г/см<sup>3</sup>;

S - периметр поковки по линии разъема, см;

$f_з$  - площадь сечения канавки заусенца, см<sup>2</sup>.

Таблица 6. Площадь сечения канавки заусенца

Вес поковки, г	!	500	!	5000 + 12000	!	40000-100000
Значения $f_з$ см <sup>2</sup>	!	1,1	!	3,2	!	11,2

Вес угара принимает 3+4% от веса поковки  $G_n$ . Значение коэффициента (0,5÷0,8) следует выбирать, исходя из сложности конфигурации поковки. Большее значение коэффициента принимают для деталей сложной конфигурации.

По найденному значению веса поковки определяем объем исходной заготовки

$$V_{исх} = \frac{G_{исх}}{\gamma}$$

и находим размеры исходной заготовки.

$$F_{исх} = \frac{(1,05 \div 1,3) \cdot V_{исх}}{l_n}$$

Где  $l_n$  - длина поковки (значением длины поковки задаемся)

Для фигурных поковок, площади поперечных сечений которых резко отличается по длине, размеры исходной заготовки определяют, задаваясь поперечным сечением.

$$l_n = \frac{(1,05 \div 1,3) \cdot V_{\text{исх}}}{(0,6 \div 1,0) \cdot F_{\text{max}}}$$

Где  $F_{\text{max}}$  - максимальное поперечное сечение поковки, включая сечение заусенца.

Размеры и поперечное сечение для поковок, изготовляемых осадкой заготовки в торец, устанавливают из вычисленного объема так, чтобы соблюсти соотношение

$$1,25 < \frac{l}{d} < 2,5$$

В соответствии с полученными значениями длины и поперечного сечения дать эскиз исходной заготовки.

Вес падавших частей молота, а следовательно марку молота ориентировочно определяют по табл.7, исходя из веса исходной заготовки.

Таблица 7

Вес падавших частей молота в зависимости от веса заготовки

Вес исходной заготовки	кг	!	0,5+	!	40 - 100
Вес падавших частей молота,	т	!	I	!	7 - 10

Порядок выполнения задания:

1. Внимательно изучить методические указания.
2. Произвести необходимые измерения детали.
3. Вычертить эскиз детали, дать краткую запись расчетов.
4. Вычертить эскиз поковки и эскиз исходной заготовки.

Отчет должен содержать эскизы деталей, поковки и исходной заготовки. Необходимо показать эскизами последовательность формообразования (ручья). Отчет должен содержать все расчеты. Эскизы выполняются в соответствии с требованиями ГОСТа.

Вопросы для самоконтроля.

1. В чем заключается процесс объемной штамповки?
2. Какой инструмент применяют для объемной штамповки?
3. Какими могут быть штампа в зависимости от сложности поковки?
4. Какие различает ручки и каково их назначение?
5. Как определить размеры исходной заготовки для объемной штамповки?

#### Лабораторная работа №8.

Контроль качества сварного шва металлографическим методом

Цель работы: Изучить наружные и внутренние дефекты сварных швов и ознакомиться с методами их выявления.

По расположению в шве дефекты подразделяется на наружные и внутренние. К наружным дефектам относят продольные и поперечные трещины, подрезы, кратеры, остатки шлака, неровную поверхность шва, наплывы и др.

Трещины (рис. 8.1 а, б) чаще всего образуются из-за внутренних напряжений, возникающих вследствие неравномерного нагрева и охлаждения металла, изменения его структуры при сварке и наличия, в нем повышенного содержания серы, фосфора, водорода, кислорода и др.

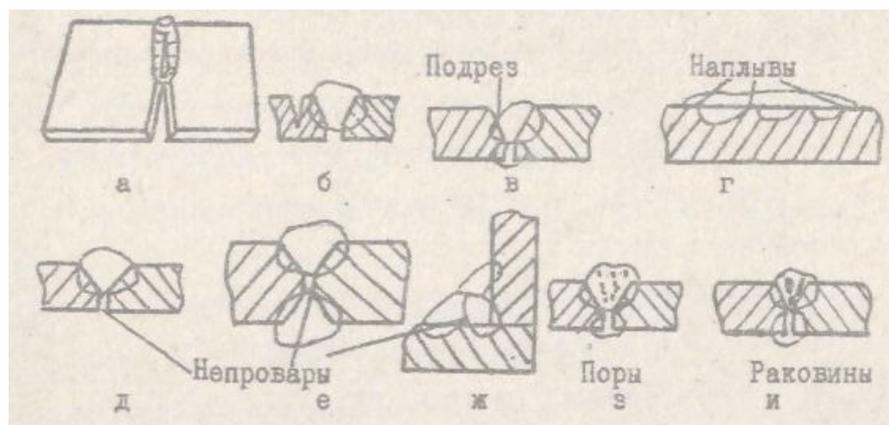


Рис. 8.1. Дефекты сварочных швов.

Подрез (рис.8.1в) характеризуется наличием канавки у края шва. Подрезы получают при сварке током большой силы или горелкой большой мощности.

Наплывы (рис.8.1г) образуются при слишком быстром плавлении электрода или присадочной проволоки и при недостаточной прогретости свариваемого металла.

Кратеры (не заплавленные углубления), остатки шлака и неровная поверхность шва появляется при низкой квалификации или небрежности сварщика.

К внутренним дефектам относят внутренние трещины, непровар корня шва или его кромки, поры, шлаковые включения, раковины, пережог металла шва и др. Внутренние трещины обычно возникают по тем же причинам, что и наружные.

Непровар корня шва или его кромки (рис.8.1 д,е,ж) характеризуется плохим сплавлением или даже отсутствием сцепления направленного металла с основным металлом. Этот дефект возникает из-за плохого прогрева свариваемого металла, некачественной разделки кромок (малый угол среза), недостаточного зазора между свариваемыми деталями, малого тока или малой мощности горелки, из-за слишком большой скорости сварки.

Поры (рис.8.1в) чаще заполнены газом (водородом, окисью углерода и др.) и образуется преимущественно из-за влажности электродного покрытия или неправильной регулировки газовой горелки, плохой очистки свариваемой поверхности от грязи, масла, ржавчины и окалины.

Шлаковые включения - раковины (рис.8.1и) наблюдаются при сварке длинной дугой или окислительным пламенем. При такой сварке из-за недостаточного прогрева жидкого металла он недостаточно интенсивно перемешивается, быстро затвердевает и из него плохо удаляется шлак.

Пережог представляет собой окисленный крупнозернистый металл шва, который возникает вследствие применения тока большой силы или горелки большой мощности, сильноокислительной среды, медленного перемещения электрода или горелки.

Наружные дефекты швов обычно контролируют визуально или через лупу при небольшом увеличении (в 10..20 раз). Иногда, например, для выявления трещин прибегают к травлению шва 10%-ным раствором азотной кислоты.

Для обнаружения внутренних дефектов сварных швов применяют просвечивание шва рентгеновскими или гамма-лучами (трещины, непровары, поры, шлаковые включения), ультразвуковой метод (трещины, поры), магнитный метод (трещины, непровары), металлографический метод и др.

Плотность швов, т.е. их непроницаемость, проверяют гидравлическим или пневматическим нагружением сварных изделий (баков) или керосиновой пробой. При первых двух методах контроля дефектные места устанавливают по течи воды или выделению пузырьков воздуха через сварной шов. При последнем методе сварной шов покрывает меловой обмазкой, а противоположную сторону сварного соединения смачивают керосином. Если шов неплотный, на меловой обмазке выступит керосин.

В настоящей работе использован металлографический метод, при котором изделие разрезают вдоль и поперек шва или вырезает из него образцы. Затем это изделие или образцы шлифуют, полируют, травят и выполняют макро- и микроанализ.

Макроанализ внутренних дефектов шва по разрезу детали или вырезанным образцам проводят визуально или через линзу при небольшом увеличении, что позволяет обнаружить трещины, поры, раковины, шлаковые включения, непровары, границу раздела шва и основного металла, дендритность шва - направленность и величину столбчатых кристаллов. Вдоль самих столбчатых кристаллов и в местах окончания их кристаллизации нередко получается трещины.

При микроанализе, который выполняют на микроскопе при увеличении в 100..1000 раз, в структуре шва можно обнаружить микротрещины, перегрев или пережог металла, границу раздела шва и основного металла.

Порядок выполнения работы. 1. Осмотреть дефектные и бездефектные образцы сварных соединений, заполненных различными способами сварки (ручная и автоматическая дуговая и газовая).

2. Получить для исследования комплект макро- и микрошлифов сварных швов с различными наружными и внутренними дефектами (трещины, подрезы, кратеры, шлаковые включения, наплывы, поры, непровары, пережог и дендритность) и бездефектов с указанием химического состава металла шва и основного металла, лупу и металлографический микроскоп.

3. Изучить и зарисовать наружные дефекты сварных швов.

4. Изучить и зарисовать макро- и микроструктуру внутренних дефектов сварных швов.

5. Изучить и зарисовать макро- и микроструктуру качественного сварного шва.

6. При исследовании отметить вид дефекта, указать его размер, место расположения и причину возникновения, определить границу раздела шва и основного металла (по макро- и микроструктуре) и дать оценку дефектной и качественной структуры сварного шва.

7. Результаты исследований внести в протокол отчета.

Содержание отчета. В отчет необходим включить: описание основных дефектов сварных соединений и причины их образования; рисунки наружных дефектов, макро-, микроструктуру внутренних дефектов и качественного шва и их описание. В выводах по работе дать сравнительную оценку изученным сварным швам, указать какие дефекты наиболее опасны и какой должна быть макро- и микроструктура качественного шва.

Вопросы для самоконтроля.

1. Основные виды сварных соединений.
2. Классификация сварных швов на положение в пространстве.
3. Основные дефекты сварных соединений.
4. Как влияют дефекты на прочность сварных соединений?
5. Что такое зона термического влияния?
6. Чем определяются размеры зоны термического влияния?
7. Какие участки сварного шва обладают наибольшей хрупкостью или повышенными механическими свойствами?
8. Что является причиной образования трещин в сварных соединениях?

#### Лабораторная работа №9.

##### Литье в металлические формы /кокили/и конструкция кокилей

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ;** Ознакомиться со способом литья в металлические формы с технологической оснасткой. Изучить технологический процесс изготовления отливки.

Литье в металлические формы является одним из прогрессивных способов получения отливок. Сущность процесса состоит в многократном применении

металлической формы, имеющей гораздо более высокую стойкость, чем обычная глинистая форма. Высокая прочность материала металлической формы позволяет выполнять рабочие полости формы с более точными, стабильными размерами и соответственно получать отливки размерами до 3-го класса точности. Минимальное физико-химическое взаимодействие металла и формы способствует повышению качества поверхности и полностью устраняет пригар. Шероховатость поверхности отливки может достигать  $R_z 40$ ,  $R_z 10$ . Благодаря высокой теплопроводности материала формы тепло быстро отводится от отливки, что повышает скорость ее затвердевания и положительно сказывается на ее механических свойствах. Отличительные особенности формирования отливки в металлической форме по сравнению с обычной песчано-глинистой формой следующие:

1. Процессы заполнения формы и затвердевания отливки протекают при высокой интенсивности теплового взаимодействия между отливкой и формой, жидкий металл и затвердевающая отливка охлаждаются быстрее, чем в песчано-глинистой форме. Повышенная скорость охлаждения в одних случаях способствует улучшению качества отливки, а в других, например, при литье чугуна, вызывает образование отбела на поверхности отливки, что затрудняет механическую обработку или требует термообработки.

2. Металлическая форма практически не обладает газопроницаемостью, поэтому расположение отливки в форме, способ подвода металла и конструкция формы должны обеспечивать удаление воздуха и газов при ее заливке.

3. Металлическая форма неподатлива, т.е. оказывает значительное сопротивление усадке отливки, что затрудняет извлечение ее из формы, а также может вызвать появление внутренних напряжений, коробление и трещины в отливке.

Металлические формы можно разделить на несколько типов по их конструктивным особенностям. Металлические формы бывают:

- а/ неразъемные или вытряхные
- б/ с вертикальной плоскостью разъема
- в/ с горизонтальной плоскостью разъема
- г/ со сложной поверхностью разъема.

Неразъемные или вытряхные формы, применяются в тех случаях, когда конструкция отливки позволит удалить ее после заливки в месте с литниками из плоскости формы без ее разъема. Обычно эти отливки имеют простую конфигурацию. Формы с вертикальной плоскостью разъема состоят из полуформ, отливка может располагаться целиком в одной из полуформ, двух полуформах. Формы с горизонтальной плоскостью разъема применяют преимущественно для простых по конфигурации и крупногабаритных отливок и в отдельных случаях для отливки весьма сложной конфигурации. В формах со сложной поверхностью разъема изготавливают отливки сложной конфигурации, при этом применяют различные способы разъема формы для извлечения отливки.

Металлические формы могут разделяться на формы:

- 1. Без стержней
- 2. с металлическими стержнями
- 3. с песчаными стержнями
- 4. с металлическими и песчаными стержнями

По сравнению с литьем в песчаные формы литье в металлические формы имеет следующие преимущества:

- 1. многократное использование формы
- 2. повышение точности размеров отливок, уменьшение шероховатости отливки, что позволяет снизить припуск на механическую обработку в 2-3 раза, а иногда и полностью устранить ее. Это увеличивает выход годности до 75—90%.

3. Повышение плотности отливки, улучшение ее структуры, на 15-30% возрастают механические свойства.

4. Сокращение, а во многих случаях полное исключение расхода формовочных и стержневых смесей.

5. Исключение трудоемких операций формовки, сборки и выборки форм. Это создает условия для полной механизации и автоматизации процесса, роста производительности труда.

Наряду с этим литье в металлические формы имеет недостатки:

1. Высокая стоимость кокиля, сложность и длительность его изготовления.

2. Плохая заполняемость форм при изготовлении тонкостенных /2,5 - 3 мм/ протяженных отливок вследствие высокой теплопроводности формы.

3. Высокая, сравнительно с песчанкой формой, скорость охлаждения может привести к неравномерным по сечению стенки отливки свойствам, а в чугуновых отливках к отбелу.

4. Трудность получения отливок с поднутрениями, для выполнения которых необходимо применять стержни и вставки.

Литье в кокиль применяется только в серийном и массовом производстве.

Оборудование, материалы, инструменты:

1. Кокили различных конструкций.

2. Отливки, полученные в данных кокилях.

3. Расплавленный парафин, цветной сплав.

**ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ;**

1. Изучить теоретическую часть работы /кратко описать сущность процесса.

2. Собрать кокиль и залить их парафином.

3. После охлаждения отливок, извлечь их из кокилей.

4. По указанию преподавателя зарисовать конструкции 2-х кокилей и полученные в них отливки.

**Вопросы для самоконтроля.**

1. Как классифицируются кокили по конструктивным признакам?

2. Перечислите преимущества отливок, полученных литьем в металлические формы.

3. Перечислите недостатки отливок, полученных литьем в металлические формы.

4. Почему при литье в кокили снижается жидкотекучесть?

5. Почему металлическая форма препятствует образованию в отливке усадки?

6. Почему структура отливки, полученной литьем в металлические формы, имеет мелкозернистое строение?

### **3 Методические указания (рекомендации)**

#### **3.1 Методические указания для преподавателей**

Дисциплина «Материаловедение и технология конструкционных материалов» относится к циклу общепрофессиональных дисциплин, региональная компонента. Для изучения дисциплины предусмотрена аудиторная и самостоятельная формы работы.

В пунктах 4 и 6 рабочей программы приведены формы текущего, итогового контроля и форма самостоятельной работы. К аудиторным видам работы относятся лекции и лабораторные занятия.

На лекциях излагается основной материал по темам дисциплины. Подготовка лекции непосредственно начинается с разработки структуры рабочего лекционного курса по конкретной дисциплине. Количество лекций определяется с учетом общего количества часов, отведенных для лекционной работы.

Структура лекционного курса обычно включает в себя вступительную, основную и заключительную части. После определения структуры лекционного курса по темам можно приступить к подготовке той или иной конкретной лекции.

Методика работы над лекцией предполагает примерно следующие этапы:

- выяснение того, что и в каком объёме было изучено студентами ранее по родственным дисциплинам;
- определение места изучаемой дисциплины в учебном процессе подготовки специалиста;
- отбор материала для лекции;
- определение объема и содержания лекции;
- выбор последовательности и логики изложения, составление плана лекции;
- подбор иллюстративного материала;
- выработка манеры чтения лекции.

Отбор материала для лекции определяется ее темой. Следует тщательно ознакомиться с содержанием темы в базовой учебной литературе, которой пользуются студенты. Выяснить, какие аспекты изучаемой проблемы хорошо изложены, какие данные устарели и требуют корректировки. Следует определить вопросы, выносимые на лекцию, обдумать обобщения, которые необходимо сделать, выделить спорные взгляды и четко сформулировать свою точку зрения на них.

Определение объема и содержания лекции – ещё один важный этап подготовки лекции, определяющий темп изложения материала. Это обусловлено ограниченностью временных рамок, определяющих учебные часы на каждую дисциплину. Не рекомендуется идти по пути планирования чтения на лекциях всего предусмотренного программой материала в ущерб полноте изложения основных вопросов. Лекция должна содержать столько информации, сколько может быть усвоено аудиторией в отведенное время. Лекцию нужно разгружать от части материала, переносить его на самостоятельное изучение. Самостоятельно изученный студентами материал, наряду с лекционным, выносится на экзамен. Если лекция будет прекрасно подготовлена, но перегружена фактическим (статистическим, и т.п.) материалом, то она будет малоэффективной и не достигнет поставленной цели.

Кроме того, при выборе объема лекции необходимо учитывать возможность «среднего» студента записать ту информацию, которую он должен обязательно усвоить. Приступая к решению вопроса об объеме и содержании лекции, следует учитывать ряд особенных, специфических черт этого вида занятия, в том числе и дидактическую характеристику лекции. Лекция входит органичной частью в систему учебных занятий и должна быть содержательно увязана с их комплексом, с характером учебной дисциплины, а также с образовательными возможностями других форм обучения.

Содержание лекции должно отвечать ряду дидактических принципов. Основными из них являются: целостность, научность, доступность, систематичность и наглядность.

После определения объёма и содержания лекции, необходимо с современных позиций проанализировать состояние проблемы, изложенной в учебных материалах, и составить расширенный план лекции.

Основные этапы планирования и подготовки занятий:

- Разработка системы занятий по теме или разделу.
- Определение задач и целей занятия.
- Определение оптимального объема учебного материала, расчленение на ряд законченных в смысловом отношении блоков, частей.
- Разработка структуры занятия, определение его типа и методов обучения.
- Нахождение связей данного материала с другими дисциплинами и использование этих связей при изучении нового материала.
- Подбор дидактических средств (фильмов, карточек, плакатов, схем, вспомогательной литературы).
- Определение форм и методов контроля знаний студентов.
- Определение самостоятельной работы по данной теме.

В учебном плане по каждой дисциплине имеется графа «Самостоятельная работа» с указанием количества часов, отведенных на эту работу. В рабочей программе дисциплины предусмотрен раздел «Самостоятельная работа», в котором должны быть изложены:

1. Количество часов, выделенных в учебном плане на самостоятельную работу.
2. Число заданий на самостоятельную работу, которое студент должен выполнить в процессе изучения дисциплины.
3. Краткое содержание каждого задания.
4. Сроки и формы промежуточного контроля по выполненным заданиям.

Все виды самостоятельной работы, предусмотренные в рабочей программе по каждой дисциплине, должны быть обеспечены методическими указаниями, являющимися неотъемлемой частью методического обеспечения читаемой дисциплины.

В ходе самостоятельной работы студент осваивает теоретический материал по дисциплине (освоение лекционного курса, а также освоение отдельных тем), закрепляет знание теоретического материала подготовка и выполнение работ по физическому практикуму и выполнение расчетно-графических работ.

К видам самостоятельной работы в пределах данной дисциплины относятся:

- 1) написание конспектов по темам,
- 2) подготовка к контролирующему тесту по модулю,
- 3) подготовка к лабораторным работам,
- 4) подготовка к зачёту по дисциплине.

Перед выдачей заданий на самостоятельную работу преподаватель читает вводную лекцию, в которой излагаются:

1. Тема задания, алгоритм его выполнения.
2. Перечень литературы, необходимой для выполнения задания.
3. Комплекс задач, которые студент обязан решить.
4. Порядок текущего контроля за выполнением самостоятельной работы.
5. Краткое содержание методических указаний по выполнению самостоятельной работы и место, где можно получить эти методические указания.
6. Форма представления выполненного варианта задания.
7. Методика контроля по выполненному заданию .

Критериями оценки результатов работы студентов в течение студента являются: уровень освоения студентом учебного материала, умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач, обосновать четкость изложения ответов. По окончании курса студенты обязаны сдать зачет. Сроки проведения итогового контроля устанавливается графиком учебного процесса. При проведении итогового контроля по дисциплине преподаватель должен оценить уровень сформированности у студентов умений и навыков при освоении программы дисциплины.

### **3.2 Методические указания для студентов**

В процессе изучения лекционного материала рекомендуется использовать не только опорные конспекты, но и учебники и учебные пособия. Перед каждой лекцией рекомендуется просмотреть материал по предыдущей лекции.

Методические рекомендации по подготовке к лабораторным работам.

1. Лабораторные работы выполняются бригадой, состоящей из 3 студентов.
2. Подготовка к лабораторным работам требует достаточное количество времени, поэтому целесообразно планировать ее заранее!

3. Каждому занятию предшествует предварительная подготовка студента, которая включает в себя: а) ознакомление с содержанием лабораторной работы по методическим указаниям к ней; б) проработку теоретической части по учебникам, рекомендованным в методических указаниях; в) подготовка отчета по лабораторной работе.

Отчет должен содержать:

- 1) название лабораторной работы;
- 2) цель;
- 3) приборы и принадлежности;
- 4) таблицу для занесения результатов (при необходимости);
- 5) теоретическую часть (основные понятия и законы);
- 6) описание опыта и установки.

Теоретическая часть должна быть краткой, занимать не более листа. Она должна содержать основные положения, законы, лежащие в основе изучаемого материала. Студент должен помнить, что методические указания к лабораторным работам являются только основой для их выполнения. Теоретическую подготовку к каждой лабораторной работе необходимо осуществлять с помощью учебной литературы.

4. Оформление результатов работы производится в **личном лабораторном журнале** студента. Утерянный лабораторный журнал подлежит восстановлению.

5. Перед выполнением эксперимента студент должен получить допуск к работе. Для получения допуска студент должен пройти собеседование с преподавателем и ответить на следующие вопросы:

- какова цель экспериментальной задачи? Каковы основы теории изучаемого материала, основные понятия и определения.
- каков принцип работы экспериментальной установки?
- каковы основные этапы эксперимента.

5. Получив допуск, выполнить эксперимент с соблюдением его методики и правил техники безопасности. Занести данные измерений в таблицы отчета.

После выполнения эксперимента студент должен получить отметку преподавателя о выполнении работы. Без **подписи** преподавателя работа не считается выполненной.

6. Зарисовать структуры и заполнить таблицы. Отчет должен быть оформлен аккуратно: рисунки и таблицы следует выполнять **по линейке**.

7. Для получения зачета по работе необходимо представить преподавателю оформленный отчет со всеми необходимыми расчетами, таблицами и рисунками и защитить его в ходе последующего собеседования. Для получения зачета студент представляет преподавателю оформленный отчет.

8. Если студент не выполнил лабораторную работу, то на следующем занятии он выполняет с л е д у ю щ у ю по графику работу. Пропущенную работу можно выполнить в течение семестра, предварительно получив допуск у преподавателя.

9. Следует своевременно сдавать выполненные работы: не д о п у с к а е т с я выполнение следующей работы при наличии двух выполненных, но не зачтенных работ.

### **3.3 Методические рекомендации по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов – это процесс активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него знаний и умений без непосредственного участия преподавателей. Самостоятельная работа сопровождается эффективным контролем и оценкой ее результатов.

Предметно и содержательно самостоятельная работа определяется государственным образовательным стандартом, действующим учебным планом, рабочей программой дисциплины, средствами обеспечения самостоятельной работы.

Самостоятельная работа – это важнейшая часть любого образования. Для студента она начинается с первых дней учебы в высшем учебном заведении. Это работа, которую за него никто не в состоянии выполнить и обязанность преподавателя – научить студента самостоятельно трудиться, самостоятельно пополнять запас знаний.

Для успешной самостоятельной работы студент должен планировать свое время и за основу рекомендуется брать рабочую программу учебной дисциплины.

### Самостоятельная работа студента при подготовке и изучению лекционного материала.

После прослушивания лекции необходимо проработать и осмыслить полученный материал. Умение слушать, творчески воспринимать излагаемый материал – это необходимое условие для его понимания. Внимательное слушание требует умственного напряжения, волевых усилий. В процессе лекционного занятия необходимо выделять важные моменты, выводы, анализировать основные положения. Если при изложении материала преподавателем создана проблемная ситуация, пытаться предугадать дальнейший ход рассуждений. Это способствует лучшему усвоению материала лекции и облегчает запоминание отдельных выводов. Из сказанного следует, что для более прочного усвоения знаний лекцию необходимо конспектировать.

Конспект лекций должен быть в отдельной тетради. Не надо стремиться подробно слово в слово записывать всю лекцию. Конспектировать необходимо только самое важное в рассматриваемом параграфе: формулировки определений и законов, выводы, то есть то, что старается выделить лектор, на чем акцентирует внимание студентов. Необходимо отфильтровывать и сжимать подаваемый материал. Более подробно записывать основную информацию и кратко – дополнительную. Не нужно просить лектора несколько раз повторять одну и ту же фразу для того, чтобы успеть записать. По возможности записи вести своими словами, своими формулировками. Лекция не должна превращаться в своеобразный урок-диктант. Поскольку в этом случае студент не учится мыслить и анализировать услышанное, и лекция превращается в механический процесс.

Тетрадь для конспекта лекций также требует особого внимания. Ее нужно сделать удобной, практичной и полезной, ведь именно она является основным информативным источником при подготовке к различным отчетным занятиям, зачетам, экзаменам. Целесообразно отделить поля, где можно бы изложить свои мысли, вопросы, появившиеся в ходе лекции. Полезно одну из страниц оставлять свободной. Она потребуется потом, при самостоятельной подготовке. Сюда можно будет занести дополнительную информацию по данной теме, полученную из других источников: чертежи и рисунки, схемы и графики, цитаты и биографии выдающихся ученых и т.д. Таким образом, на лекции студент должен совместить два момента: внимательно слушать лектора, прикладывая максимум усилий для понимания излагаемого материала и одновременно вести его осмысленную запись.

Рабочей программой дисциплины предусматривается самостоятельное изучение определенных тем, приведенных в пункте 9.2, и их конспектирование. При составлении конспектов можно пользоваться теми же принципами, что при написании лектора. Не нужно полнотекстовое копирование, научитесь в процессе конспектирования разбивать текст на смысловые части и заменять их содержание короткими фразами и формулировками.

### Самостоятельная работа при выполнении лабораторных работ.

Главные задачи лабораторных работ таковы:

- 1) освоение методики изучения структур;
- 2) изучение устройства и принципов работы приборов;
- 3) приобретение навыков работы на лабораторном оборудовании.

Прежде, чем приступить к выполнению лабораторной работы, необходимо внимательно ознакомиться с её методическим описанием. Методические описания содержат:

- 1) название работы, ее цель;
- 2) перечень приборов и принадлежностей;
- 3) общую теоретическую часть ;
- 4) методику проведения работы;
- 5) контрольные вопросы.

Основная часть времени, выделенная на выполнение лабораторной работы, затрачивается на самостоятельную подготовку: описание работы в индивидуальном лабораторном журнале, подготовка к допуску работы, самостоятельная обработка полученных результатов их анализ, формулировка выводов по проделанной работе, подготовка к защите теоретической части работы.

Студент должен понимать, что методическое описание – это только основа для выполнения работы, что навыки экспериментирования зависят не от качества описания, а от отношения студента к работе и что формально, бездумно проделанные измерения – это потраченное впустую время. Если студент приступает к работе без чёткого представления о теории изучаемого вопроса, он не может «узнать в лицо» явление, не сумеет отделить изучаемый эффект от случайных помех, а также окажется не в состоянии судить об исправности и неисправности установки. Поэтому этапу выполнения работы предшествует «допуск к работе». Этот этап необходим и по той причине, что в лабораторном практикуме часто изучаются темы еще не прочитанные на лекциях и даже не включенные в лекционный курс. Для облегчения подготовки к сдаче теоретического материала полезно ответить на контрольные вопросы, сформулированные в методическом описании.

Для успешного выполнения лабораторной работы студенту необходимо разобраться в устройстве прибора. Если в лабораторной работе исследуется зависимость одной величины от другой, эту зависимость следует представить графически. Число точек на различных участках кривой и масштабы выбираются с таким расчетом, чтобы наглядно были видны места изгибов, экстремумов и скачков.

Выполнение каждой из запланированных работ заканчивается предоставлением отчета.

#### Самостоятельная работа студента при подготовке к контролирующим тестам, зачету.

В высшей школе студент должен прежде всего сформировать потребность в знаниях и научиться учиться, приобрести навыки самостоятельной работы, необходимые для непрерывного самосовершенствования, развития профессиональных и интеллектуальных способностей.

К формам учета знаний по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» кроме зачета, рабочей программой предусмотрены также контролирующие тесты по модулям.

Согласно рабочей программе по дисциплине контролирующий тест проводится по темам соответствующих модулей. В каждом тестовом задании от 7 до 10 заданий. Цель тестирования - способствовать повышению эффективности обучения учащихся, выявить уровень усвоенных теоретических знаний, выявить практические умения и аналитические способности студентов. Тест позволяет определить, какой уровень усвоения знаний у того или иного учащегося, т.е. определить пробелы в обучении. А на основе этого идет коррекция процесса обучения и планируются последующие этапы учебного процесса. При подготовке к контролируемому тесту необходимо повторить теоретический материал по определенным темам.

Зачет – форма итоговой проверки и оценки полноты и прочности знаний студентов, а также сформированности умений и навыков; проводится в виде собеседования по важнейшим вопросам каждого раздела изученного курса или по курсу в целом в индивидуальном порядке. Может проводиться с применением тестирования.

Основная цель подготовки к зачету — достичь понимания материала, а не только механически заучить материал. Но все же довольно много вещей придется просто выучить. При этом следует учитывать индивидуальные особенности. К примеру, если у студента зрительный тип памяти, тогда следует уделить особое внимание внешней форме краткого конспекта — недопустим небрежный, неразборчивый, мелкий почерк. Формулы должны быть отделены от текста некоторым пространством, чтобы «бросаться в глаза»

сразу. Конечно, аккуратный конспект потребует несколько большего времени, но в итоге время на заучивание сократится, что позволит эффективнее подготовиться к зачету. Если у студента слуховой тип памяти, следует проговаривать наиболее важную часть материала, возможно даже использовать магнитофон для подготовки. Если же преобладающим является моторный тип памяти, то конспект нужно переписать несколько раз, причем каждый раз надо вычеркивать то, что уже выучено достаточно хорошо, оставляя для переписывания только самое необходимое для запоминания.

#### 4. Контроль знаний.

Контроль знаний, умений и навыков студентов при изучении дисциплины осуществляется на уровне текущего и итогового контроля.

##### 4.1 Текущий контроль знаний

Текущий контроль успеваемости проводится с целью повышения качества и прочности знаний, проверки процесса и результатов усвоения учебного материала. Текущий контроль успеваемости проводится в течении семестра и предполагает вставление каждому студенту отметок, оценивающих выполнение им всех видов работ, предусмотренных учебной программой дисциплины.

Текущий контроль осуществляется при работе на лекциях, на лабораторных работах, при выполнении заданий для самостоятельной работы, тестировании. Образцы различных видов оценочных средств текущего контроля по дисциплине представлены ниже.

#### Примерный вариант промежуточного контролирующего теста

Инструкция: все задания имеют одну и ту же форму - с выбором одного правильного ответа из четырех

##### Вариант №1

1. Перлит – это...
  - 1) твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe;
  - 2) твердый раствор углерода в  $\gamma$ -Fe;
  - 3) химическое соединение железа с углеродом;
  - 4) механическая смесь феррита и цементита.
  
2. В каком из видов чугунов графитовые включения имеют шаровидную форму?
  - 1) белый чугун;
  - 2) серый чугун;
  - 3) ковкий чугун;
  - 4) высокопрочный чугун.
  
3. К какому виду сталей относится Сталь Р6М5?
  - 1) углеродистая инструментальная;
  - 2) углеродистая конструкционная;
  - 3) легированная инструментальная;
  - 4) легированная конструкционная.
  
4. Какие температурные интервалы имеет низкий отпуск?
  - 1) 100-150°C;
  - 2) 180-200 °C;
  - 3) 300-400 °C;
  - 4) 500-600 °C.
  
5. Линейными дефектами кристаллического строения являются...
  - 1) вакансии;
  - 2) внедренный атом;
  - 3) дислокации;
  - 4) замещенный атом.
  
6. Какой вид обработки относится к термическим?

- 1) алитирование;
- 2) силицирование;
- 3) нормализация;
- 4) хромирование.

7. Какой вид обработки относится к химикотермической?

- 1) цементация;
- 2) отпуск;
- 3) закалка;
- 4) отжиг.

8. К какому виду сталей по содержанию углерода относится Сталь 45?

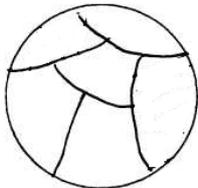
- 1) доэвтектоидная;
- 2) эвтектоидная;
- 3) заэвтектоидная;
- 4) эвтектическая.

9. К какой группе примесей углеродистых сталей относятся S и P?

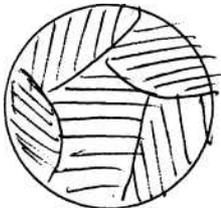
- 1) скрытые;
- 2) специальные;
- 3) постоянные полезные;
- 4) постоянные вредные.

10. Какая из указанных на рисунке структур является структурой заэвтектоидной стали?

1)



2)



3)



4)



11. От чего зависит размер зерна при кристаллизации?

- 1) от температуры нагрева;
- 2) от скорости охлаждения;
- 3) от концентрации компонентов;

4) от механического воздействия.

12. Каким методом определяется твердость тонких слоев?

- 1) методом Бринелля;
- 2) методом Роквелла;
- 3) методом Курнакова;
- 4) методом Виккерса.

13. Мартенситом является ...

- 1) механическая смесь феррита и цементита;
- 2) химическое соединение железа и углерода;
- 3) пересыщенный раствор углерода в решетке  $\alpha$ -Fe;
- 4) ограниченный твердый раствор углерода в решетке  $\gamma$ -Fe.

14. В каких модификациях может существовать железо?

- 1)  $\alpha$ -Fe,  $\sigma$ -Fe;
- 2)  $\alpha$ -Fe,  $\gamma$ -Fe;
- 3)  $\gamma$ -Fe,  $\psi$ -Fe;
- 4)  $\gamma$ -Fe,  $\sigma$ -Fe.

15. В каком состоянии присутствует углерод в сером чугуне?

- 1) в свободном в виде графита;
- 2) в виде химического соединения;
- 3) в виде ограниченного твердого раствора;
- 4) в связанном в виде цементита.

## 4.2 Итоговый контроль знаний

### Примерный вариант итогового контролирующего теста

Инструкция: все задания имеют одну и ту же форму - с выбором одного правильного ответа из четырех

#### Вариант №1

1. От чего зависит величина зерна в процессе кристаллизации?

- 1) скорости охлаждения;
- 2) температуры нагрева;
- 3) времени выдержки в печи;
- 4) концентрации.

2. Вакансия – это ...

- 1) дислокация;
- 2) поверхностный дефект кристаллического строения;
- 3) точечный дефект кристаллического строения;
- 4) объемный дефект кристаллического строения.

3. Аустенит – это ...

- 1) твердый раствор углерода в решетке Fe $_{\alpha}$ ;
- 2) механическая смесь феррита и цементита;
- 3) химическое соединение Fe и C;
- 4) твердый раствор углерода в решетке Fe $_{\gamma}$ .

5. В каком состоянии присутствует углерод в белом чугуне?

- 1) в свободном, в виде графита;
- 2) в связанном, в виде цементита;
- 3) в виде механической смеси феррита и цементита;
- 4) в виде твердого раствора углерода в железе.

6. Какую форму имеют графитовые включения в ковком чугуна?
- 1) чешуйчатую;
  - 2) в виде шаровидных зерен;
  - 3) хлопьевидную;
  - 4) пластинчатую
7. К какой группе сталей относится сталь Р6М5?
- 1) углеродистая инструментальная;
  - 2) легированная конструкционная;
  - 3) углеродистая конструкционная;
  - 4) легированная инструментальная.
8. Цель диффузионного отжига?
- 1) упрочнение поверхности;
  - 2) снятие закалочных напряжений;
  - 3) устранение химической неоднородности;
  - 4) улучшение обрабатываемости.
9. В каком случае образуется эвтектика?
- 1) когда компоненты образуют химическое соединение;
  - 2) когда компоненты неограниченно растворяются друг в друге;
  - 3) когда компоненты вообще не растворяются друг в друге;
  - 4) когда компоненты ограниченно растворяются друг в друге.
10. К какому виду железоуглеродистых сплавов относится сплав с содержанием углерода 4,8% ?
- 1) доэвтектический чугун;
  - 2) эвтектоидная сталь;
  - 3) заэвтектический чугун;
  - 4) заэвтектоидная сталь.
11. Полиморфизм – это...
- 1) способность металлов сопротивляться ударным нагрузкам;
  - 2) способность металлов изменять кристаллическую решетку;
  - 3) способность сопротивляться внедрения инородного тела;
  - 4) способность сопротивляться хрупкому разрушению.
12. Какая температура является температурой нагрева под закалку для стали У8?
- 1) 100-150°C;
  - 2) 550-600°C;
  - 3) 650-680°C;
  - 4) 760-770°C;
13. К какой группе цветных сплавов относится сплав ЛАЖ60-1-1 ?
- 1) сплав на основе алюминия деформируемый;
  - 2) многокомпонентная латунь;
  - 3) сплав меди с цинком;
  - 4) сплав алюминия с магнием.
14. Твердой резиной является ...
- 1) эбонит;
  - 2) пропилен;
  - 3) второпласт;
  - 4) полиамид.
15. На какой линии диаграммы Fe-C при охлаждении происходит эвтектоидное превращение?
- 1) PSK;
  - 2) ECF;
  - 3) ABCD;
  - 4) GSK.

16. Цель закалки - ...

- 1) улучшение обрабатываемости металла;
- 2) снятие внутренних напряжений;
- 3) получение максимальных прочностных характеристик;
- 4) устранение химической неоднородности.

17. Назначить температуру отпуска для инструментальной стали У8 применяемой для изготовления молотков...

- 1) 180-200 °С;
- 2) 300-400 °С;
- 3) 500-600 °С;
- 4) 700-800 °С.

18. Проходные резцы предназначены для:

- 1) обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей;
- 2) протачивания канавок;
- 3) обработки внутренних поверхностей;
- 4) обтачивания плоских торцовых поверхностей

19. Полости в верхней и нижней частях штампа называют:

- 1) ручьями;
- 2) калибром;
- 3) профилями;
- 4) матрицей

20. Газовая сварка является разновидностью сварки:

- 1) термической;
- 2) термомеханической;
- 3) механической;
- 4) физико-химической

21. Оболочковые формы изготавливают из:

- 1) песчано-силояных смесей с термореактивным связующим;
- 2) песчано-глинистых смесей;
- 3) гипса;

4)конструкционных углеродистых или легированных сталей

22.Процесс зарождения и роста новых, чаще всего равноосных, зерен с меньшим количеством дефектов в процессе нагрева деформированного металла называется:

1)рекристаллизацией;

2)наклепом;

3)возвратом

4)полигонизацией

23.Операция ковки, целью которой является уменьшение высоты заготовки при увеличении площади её поперечного сечения называется:

1)осадкой;

2)высадкой;

3)протяжкой;

4)прошивкой

24.Неплавящиеся электроды, используемые при дуговой сварке, чаще всего изготавливают из:

1)вольфрама;

2)меди;

3)низкоуглеродистой стали;

4)титана

25.Процесс получения металлических заготовок путем заливки расплавленного металла в заранее подготовленную разовую или многократно используемую форму называется:

1)литьём;

2)плавлением;

3)прессованием;

4)порошковой металлургией

## **5. Интерактивные технологии и инновационные методы, используемые в образовательном процессе.**

При преподавании дисциплины «Материаловедение и технология конструкционных материалов» используется технология модульного обучения. Дисциплина разделена на 2 модуля, которые, в свою очередь, включают в себя несколько разделов, исходя из того, что оптимальный объем каждого раздела логически соответствует завершённому разделу учебной дисциплины. При этом в соответствии с целевым назначением модули являются смешанными, т.е. соединяют в себе познавательные и операционные функции. В модуле излагается принципиально важное содержание учебной информации, дается разъяснение к этой информации, определяются условия погружения в информацию (с помощью средств ТСО, конкретных литературных источников, методов добывания информации), приводятся теоретические задания и рекомендации к ним, указаны практические задания.

Каждый модуль заканчивается контрольной проверкой знаний (проведение контролирующего теста).

При чтении лекций по данной дисциплине используется такой неимитационный метод активного обучения, как «Проблемная лекция», а при определенных темах «Лекция-визуализация».

При выполнении работ используются следующий прием интерактивного обучения «Кейс-метод»: задание студентам для подготовки к выполнению лабораторной работы имитирующей реальное событие; обсуждение с преподавателем цели работы и хода ее выполнения; обсуждение и анализ полученных результатов; обсуждение теоретических положений, справедливость которых была установлена в процессе выполнения лабораторной работы.

